

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

Bruno Locks Floriani

**PROPOSTA DE UMA SOLUÇÃO CONCEITUAL DE UM SISTEMA
DE INVESTIGAÇÃO SUBAQUÁTICO PARA ÁGUAS RASAS**

Florianópolis

2013

Bruno Locks Floriani

**PROPOSTA DE UMA SOLUÇÃO CONCEITUAL DE UM SISTEMA
DE INVESTIGAÇÃO SUBAQUÁTICO PARA ÁGUAS RASAS**

Dissertação submetido ao Programa de Pós
Graduação em Engenharia Mecânica para
a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina:

Prof. Henrique Simas, Dr. Eng.

Coorientador

Universidade Federal de Santa Catarina:

Prof. Daniel Martins, Dr. Eng.

Florianópolis

2013

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Floriani, Bruno Locks

Proposta de uma Solução Conceitual de um Sistema de
Investigação Subaquático para Águas Rasas / Bruno Locks
Floriani ; orientador, Henrique Simas ; co-orientador,
Daniel Martins. - Florianópolis, SC, 2013.

101 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Mecânica.

Inclui referências

1. Engenharia Mecânica. 2. Engenharia Mecânica. 3.
Robótica. 4. Projeto Mecânico. I. Simas, Henrique. II.
Martins, Daniel. III. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.
IV. Título.

Bruno Locks Floriani

**PROPOSTA DE UMA SOLUÇÃO CONCEITUAL DE UM SISTEMA
DE INVESTIGAÇÃO SUBAQUÁTICO PARA ÁGUAS RASAS**

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de “Mestre em Engenharia Mecânica”, e aprovado em sua forma final pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica.

Florianópolis, 27 de setembro 2013.

Prof. Armando Albertazzi Gonçalves Jr., Dr. Eng.
Coordenador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Henrique Simas, Dr. Eng.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Daniel Martins, Dr. Eng.
Coorientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Banca Examinadora:

Prof. Henrique Simas, Dr. Eng.
Universidade Federal de Santa Catarina
Presidente

Prof. André Ogliari, Dr. Eng.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Antonio Henrique da Fontoura Klein, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Carlos Rodrigues Rocha, Dr. Eng.
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul

Este trabalho é dedicado aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

A Deus por seu amor e misericórdia.

Aos Professores Henrique Simas e Daniel Martins, pela orientação, paciência, conselhos e empenho durante toda a dissertação.

Ao Prof. Altamir Dias, que tanto contribui para que eu seguisse no caminho da pesquisa e muito contribui com meu crescimento enquanto pesquisador.

Aos amigos, colegas e bolsistas do Laboratório de Robótica Prof. Raul Guenther e do LaboCADCAM.

A minha família, em especial a meus pais, pelo apoio incondicional.

A CAPES pelo apoio financeiro.

*Rather than love, than money, than fame,
give me truth.*

(Henry David Thoreau)

RESUMO

A investigação subaquática de águas profundas tem recebido grande atenção e investimento por conta das questões econômicas envolvidas. Por outro lado, apenas nas últimas duas décadas a investigação das águas rasas tem recebido atenção. A investigação e caracterização das superfícies e subsuperfícies submersas rasas é de suma importância, a fim de permitir um correto planejamento das atividades humanas, uma vez que essas regiões compõem também as regiões costeiras, mais próximas das cidades. Um estudo realizado mostrou que a investigação em águas rasas possui limitações em termos de precisão de medições (batimetria, por exemplo), custos e insalubridade aos operadores. Tendo por base essas limitações, este trabalho visa desenvolver o projeto conceitual de um sistema de investigação de águas rasas, que seja economicamente viável e que realize suas tarefas minimizando riscos aos operadores e ao ambiente marinho, quando comparado às soluções atuais. Desta forma, é feito um levantamento de metodologias de projeto para auxiliar a projeção e um estudo sobre problemáticas relacionadas a investigação subaquática. Por fim, é proposto o conceito de um veículo para investigação subaquática de águas rasas e é apresentado seu esboço.

Palavras-chave: Investigação Subaquática. *Veículos Subaquáticos Autônomos*. Ecobatimetria. Projeto.

ABSTRACT

Investigation and characterization of surfaces and subsurfaces in shallow water regions is very important in order to allow proper planning of human activities, since several of those regions are close to cities. However, this kind of research is receiving less attention than the deep water ones, due to the most immediate profitable activities of the oil and gas industry. Even that most villages and cities was developed near of body of water, the study of shallow water just started receiving investments in the past two decades. Although it can be thought that it is a simple matter of transferring the deep water investigation technology to the case of shallow water, the fact is that this environment has several factors that makes it a complex one. There are the influence of winds, waves, tides and currents, for instance. Also, it has a constant changing topography. So, the problem of performing batimetry in shallow water is not just important but has several issues to be considered. This work presents conceptual design proposal of a Autonomous Underwater Vehicle for underwater mapping, which must be economically viable and perform its tasks while minimizing risks to operators and to the underwater environment, when compared to current solutions. To achieve these goals, a research about the current investigation systems used by research centers and companies was made, followed by a study of mapping methods of the ocean background focusing in the acoustics ones. Some problems associated with AUV design and operation was discussed, especially the ones of navigation/localization during the execution of a mission and the wave dynamics in shallow water. Finally, a conceptual solution of an AUV for investigation in shallow water is presented.

Keywords: Underwater Research. Autonomous Underwater Vehicle. Echo-Bathymetry. Design

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Sistema Multifontes - Feixe de Sinais (SOUZA, 2006)	42
Figura 2	Sistema Multifontes - Resultado, adaptado de (SOUZA, 2006)	43
Figura 3	Sistema Multicanais adaptada de (SOUZA, 2006)	44
Figura 4	Argo (BENEDETTI, 2011)	44
Figura 5	Posição do Sonar e Motor de Pupa (BENEDETTI, 2011)	45
Figura 6	Arranjo dos equipamentos no veículo (MARTETHYS LEVANTAMENTOS OCEANOGRÁFICOS E ESTUDOS AMBIENTAIS, 2012)	46
Figura 7	Two Vessel USBL Adaptada de (CHANCE et al., 2000)	57
Figura 8	Long Base Line (KONGSBERG, 2013)	59
Figura 9	Short Base Line (KONGSBERG, 2013)	61
Figura 10	Ultra Short Base Line (KONGSBERG, 2013)	62
Figura 11	Sistema de Boias Inteligentes (ZANONI, 2012)	63
Figura 12	Representação dos parametros de uma onda, adaptado de Coastal Engineering Manual (2002)	65
Figura 13	Trajetória das partículas de água sob o efeito da onda, adaptada de Coastal Engineering Manual (2002)	67
Figura 14	Representação de um AUV em águas rasas (ANANTHAKRISHNAN; ZHANG, 1998)	68
Figura 15	Representação de um AUV em águas rasas, adaptado de Ananthakrishnan e Zhang (1998)	69
Figura 16	Campo de velocidades em águas rasas $d_f = 0,5$, adaptado de Ananthakrishnan e Zhang (1998)	70
Figura 17	Gráfico de forças no AUV em águas rasas $d_f = 0,5$, adaptado de Ananthakrishnan e Zhang (1998)	71
Figura 18	Campo de velocidades em águas rasas $d_f = 0,25$, adaptado de Ananthakrishnan e Zhang (1998)	71
Figura 19	Gráfico de forças no AUV em águas rasas $d_f = 0,25$, adaptado de Ananthakrishnan e Zhang (1998)	72
Figura 20	Representação gráfica do modelo PRODIP, (ROMANO, 2003)	74
Figura 21	Fases da macrofase de projeção	75
Figura 22	Estrutura funcional do AUV	85
Figura 23	Proposta de nova estrutura funcional do AUV	86
Figura 24	Modelo Arraia	91

Figura 25 Modelo do <i>AUV</i>	92
Figura 26 Modelo do <i>AUV</i> - Vista Explodida	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Classes dos <i>ROVs</i>	30
Tabela 2	Uso dos <i>ROVs</i>	31
Tabela 3	Classes dos <i>AUVs</i>	31
Tabela 4	Uso dos <i>AUVs</i>	31
Tabela 5	Investigação de Superfícies, baseada em Souza (2006)	40
Tabela 6	Investigação de Subsuperfícies, baseada em Souza (2006) ...	41
Tabela 7	Características dos Veículos Levantados	50
Tabela 8	Equipamentos dos Veículos Levantados	51
Tabela 9	Classificação dos Sistemas de Posicionamento Acústico, baseada em (ZANONI, 2012)	58
Tabela 10	Especificações de Projeto	84
Tabela 11	Matriz Morfológica	85
Tabela 12	Possíveis Soluções - Sistema de Propulsão	87
Tabela 13	Possíveis soluções - Sistema de Localização	87
Tabela 14	Possíveis Soluções - Sistema de Navegação	88

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADCP	<i>Acoustic Doppler Current Profiler</i>
AUV	<i>Autonomous Underwater Vehicle</i> - Veículo Subaquático Autônomo
DGPS	<i>Differential Global Positioning System</i> - Sistema de Posicionamento Global Diferencial
DVL	<i>Doppler Velocity Logger</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i> - Sistema de Posicionamento Global
INS	<i>Inertial Navigation System</i>
LBL	<i>Long Base Line</i>
MCM	<i>Mine Counter Measure</i> - Localizador de Minas
NA	<i>Not Available</i> - Não disponível
PRODIP	Projeto Integrado de Produtos
ROV	<i>Remotely Operated Vehicle</i> - Veículo Subaquático Remotamente Operado
SBL	<i>Short Base Line</i>
USBL	<i>Ultra Short Base Line</i>
USV	<i>Unmanned Surface Vehicle</i> - Veículo de Superfície Não-Tripulado
UUV	<i>Unmanned Underwater Vehicle</i> - Veículo Subaquático Não-Tripulado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	27
1.1 ÁGUAS RASAS	28
1.2 DEFINIÇÕES	28
1.2.1 Robótica	28
1.2.2 Sistemas de Investigação Subaquática	29
1.2.2.1 Sistemas Fixos	29
1.2.2.2 Sistemas Rebocados	29
1.2.3 Situação atual dos UUVs	30
1.2.3.1 ROV	32
1.2.3.2 AUV	33
1.3 JUSTIFICATIVAS	34
1.4 OBJETIVOS	34
1.4.1 Objetivo Geral	34
1.4.2 Objetivos Específicos	34
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	35
2 EQUIPAMENTOS E MÉTODOS DE MAPEAMENTO SUBAQUÁTICO DE ÁGUAS RASAS	37
2.1 BATIMETRIA	37
2.2 ECOBATIMETRIA	37
2.3 ECOBATIMETRO	38
2.4 INVESTIGAÇÃO SUBMERSA	39
2.4.1 Métodos Geofísicos	39
2.5 INVESTIGAÇÃO DE ÁREAS SUBMERSAS RASAS	41
2.6 SISTEMAS BATIMÉTRICOS DE VARREDURA - SISTEMAS MULTI-FEIXES	41
2.7 SISTEMAS MULTICANAIS	43
2.8 ESTADO DA ARTE - VEÍCULOS PARA ÁGUAS RASAS	43
2.8.1 PUC-Rio - Argo	43
2.8.2 Bote Inflável	45
2.8.3 Veículo de Superfície Não-Tripulado	46
2.8.4 Florida Atlantic University AUV	47
2.8.5 LAUV - FEUP	47
2.8.6 Ifremer - Aster ^x e Idef ^x	48
2.8.7 NOC - The National Oceanography Centre	49
2.8.8 Outros Veículos	50
2.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS	51

3 METODOLOGIAS DE NAVEGAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DE VEÍCULOS SUBAQUÁTICOS	53
3.1 SISTEMAS DE REFERÊNCIA	53
3.2 SISTEMA DE NAVEGAÇÃO DE SISTEMAS DE INVESTIGAÇÃO SUBAQUÁTICA	54
3.2.1 Navegação Estimada	54
3.2.2 <i>Inertial Navigation System (INS)</i>	55
3.2.3 <i>Doppler Velocity Logger (DVL)</i>	56
3.2.4 <i>Long Base Line (LBL)</i>	56
3.2.5 <i>Two Vessel Ultra Short Base Line</i>	57
3.2.6 <i>Single Vessel Ultra Short Base Line</i>	57
3.3 SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO	58
3.3.1 Sistema de Posicionamento Acústico	58
3.3.1.1 <i>Long Base Line (LBL)</i>	59
3.3.1.2 <i>Short Base Line (SBL)</i>	60
3.3.1.3 <i>Ultra Short Base Line (USBL)</i>	60
3.3.2 Sistema de Boias Inteligentes	63
3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
4 DINÂMICA DE ONDAS	65
4.1 CINEMÁTICA DA ONDA	65
4.2 DINÂMICA DA ONDA EM ÁGUAS RASAS	67
4.3 FLUÍDO INVÍSCIDO	69
4.4 FLUÍDO VISCOSO	70
4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
5 METODOLOGIA DE PROJETO	73
5.1 CONCEITOS E DEFINIÇÕES	73
5.2 PRODIP	74
5.2.1 Projetação	75
5.2.1.1 Projeto Informacional	75
5.2.1.2 Projeto Conceitual	76
5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
6 PROPOSTA DO SISTEMA DE INVESTIGAÇÃO SUBAQUÁTICA - PROJETO	81
6.1 PROJETO INFORMACIONAL	81
6.1.1 Definição do Problema	81
6.1.2 Requisitos dos Usuários	81
6.1.3 Requisitos de Projeto	83
6.1.4 Especificações de Projeto	83
6.2 PROJETO CONCEITUAL	84
6.2.1 Estabelecimento da Estrutura Funcional	84
6.2.2 Pesquisa por Princípio de Solução	85

6.2.2.1	Sistema de Propulsão	86
6.2.2.2	Fornecimento de Energia	87
6.2.2.3	Sistema de Localização	87
6.2.2.4	Sistema de Navegação	88
6.2.2.5	Sistema Embarcado	89
6.2.2.6	Sistema de Sensores de Investigação	90
6.2.2.7	Estrutura, Leiaute e Forma	90
6.2.3	Esboço da Solução	92
6.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
7	CONCLUSÃO	95
7.1	PERSPECTIVAS E TRABALHOS FUTUROS	96
	Referências Bibliográficas	97

1 INTRODUÇÃO

O planeta Terra, também conhecido como planeta azul, tem aproximadamente 71% de sua superfície coberta por água. A água tem uma importância incontestada para a manutenção da vida e o ambiente aquático é fonte de alimentos, de recursos energéticos e de minerais. Os mares são uma alternativa viável para o transporte de pessoas e cargas e para as comunicações através de cabos submarinos (ROCHA, 2012).

Se olharmos ao longo da história, pode-se perceber a relevância da água pelo desenvolvimento de povoados e cidades, que cresceram geralmente próximos a corpos d'água.

Apesar dessa reconhecida importância o mar é pouco explorado, sendo considerado a última fronteira inexplorada da Terra (MARTINS, 2012).

Algumas das justificativas para esse pouco conhecimento do ambiente subaquático são as limitações físicas do homem (suportando apenas pouca profundidade e tempo submerso), os custos e os riscos envolvidos na operação (MARTINS, 2012; ROCHA, 2012).

O ambiente subaquático pode ser dividido em grandes porções: águas profundas, águas transicionais e águas rasas. Sendo d a profundidade da coluna d'água e L o comprimento de onda, as porções de água são definidas pelas relações:

- Águas Profundas - $\frac{d}{L} \leq 0,5$
- Águas Transicionais - $0,1 \geq \frac{d}{L} \geq 0,5$
- Águas Rasas - $\frac{d}{L} \geq 0,1$

Águas rasas também podem ser consideradas quando a profundidade é inferior a 50m (SOUZA, 2006).

A investigação subaquática de águas profundas no Brasil tem recebido grande atenção e investimentos, graças à indústria do petróleo e gás, visto que este investimento encontra um retorno quase que imediato dos recursos (SOUZA, 2006).

Por outro lado, a investigação das águas rasas só tem recebido atenção nas últimas duas décadas. Além disto, não se pode apenas transferir os métodos de investigação de águas profundas para rasas de maneira direta ou através de adaptações (SOUZA, 2006). A investigação de águas rasas requer equipamentos específicos.

Este trabalho trata da análise de especificações de sistemas de investigação subaquático para águas rasas para a proposição de uma solução para exploração da topografia do relevo submerso para águas rasas.

1.1 ÁGUAS RASAS

A investigação e caracterização das superfícies e subsuperfícies submersas rasas é de suma importância a fim de permitir um correto planeamento das atividades humanas, cada vez mais intensas nesses ambientes, que contém importantes recursos à vida. Destacam-se a instalação e manutenção de obras civis (barragens, túneis, pontes, portos), estações exploratórias, cabos, dutos, hidrovias, prospecção de minerais, recursos pesqueiros e até a instalação de depósitos de resíduos (SOUZA, 2006).

Apesar de Verne (1998) afirmar que “As grandes profundidades do oceano são inteiramente desconhecida de nós. O que passa nestas remotas profundidades, nós dificilmente podemos conjecturar”, o ambiente costeiro, de águas rasas não se encontra em melhor situação. Ele é tão desconhecido quanto o de águas profundas.

Isto ocorre em parte por se caracterizar como um ambiente muito complexo, onde diversos fatores, agentes da natureza atuam, como ventos, ondas, marés, correntes. Fazendo com que ocorram transformações (no ambiente) nas escalas de tempo mais variadas (SOUZA, 2006). Neste sentido equipamentos apropriados de exploração são necessários para águas rasas.

1.2 DEFINIÇÕES

Nesta secção serão discutidas algumas definições associadas a robótica, robótica móvel e aos sistemas de investigação subaquática, de maneira a clarificar as diferenças entre estes sistemas.

1.2.1 Robótica

Segundo as definições da ISO 10218 e da BARA - British Automation and Robot Association (2013) um robô é uma máquina manipuladora, reprogramável, multifuncional, controlada automaticamente, projetado para manipular e transportar objetos, peças, ferramentas dentre outros dispositivos em variadas tarefas. Entretanto estas definições limitam os robôs a manipuladores. A definição mais geral de robôs tem sido tema de discussão, o que deixa em aberto esta definição, desta forma neste trabalho robô será definido como uma máquina reprogramável, multifuncional, controlada automaticamente.

Já robôs móveis podem ser definidos como máquinas passíveis de locomoção própria, ou seja, tem capacidade de locomoção por meio de pernas,

lagartas ou rodas, dotados de autonomia ou não, com capacidade de serem programados e de *sentir* o ambiente em sua volta através de sensores (PEREIRA, 2003).

No entanto esta definição de robô móvel está mais adequada a robôs terrestres, não sendo adequada a robôs subaquáticos, que não se locomovem por pernas, lagartas ou rodas. Além disso, na robótica subaquática tem sido bastante discutida as definições de *ROVs* e *AUVs*, por outro lado não se tem discutido de maneira tão enfática o que é um robô subaquático, se os *ROVs* e *AUVs* são robôs ou não.

Assim se definirá robôs subaquáticos como uma classe de robôs móveis, caracterizados por operarem no ambiente submerso, ou seja, um robô subaquático é uma máquina passível de locomoção própria de forma autônoma no ambiente submerso.

1.2.2 Sistemas de Investigação Subaquática

Os sistemas de investigação subaquática são divididos em grupos de acordo com suas características o que facilita o seu estudo e entendimento. Nesta subseção serão apresentados os principais sistemas de investigação apresentados por Martins (2012). Sendo eles sistemas fixos, sistemas rebocados e sistemas autopropeledos (*ROVs* e *AUVs*).

1.2.2.1 Sistemas Fixos

Os sistemas fixos são caracterizados por serem fixos no leito ou em bóias, podendo ter ou não ligação com a base via cabos e armazenamento de dados local. Os sistemas de superfície (bóias) possuem comunicação via satélite

1.2.2.2 Sistemas Rebocados

O sistema de sistemas rebocados (*towfish*) consiste um veículo rebocado, por uma embarcação, sendo uma caixa de sensores, visto que não se tem o controle do *towfish* a bordo da embarcação, podendo ou não ter ligação elétrica com a base (embarcação).

Além de não ter controle sobre o veículo rebocado, os sistemas do tipo *towfish* tem um custo maior do que os *AUVs* na investigação subaquática (BARROS, 2012). Alguns exemplos comparando o custo da investigação

com sistemas rebocados e *AUVs* são: em uma investigação de uma área de 26 km x 17 km no oeste da África, o sistema rebocado (como apoio de duas embarcações) teve um custo 22% maior e consumiu 54 dias a mais do que um *AUV* (com o apoio de uma embarcação). Já na investigação de um oleoduto de 45 milhas no golfo do México a economia com o uso de um *AUV* foi de 59% consumindo apenas 19,5% do tempo do *towfish*.

1.2.3 Situação atual dos UUVs

Estimava-se que em 2009 existiam 629 *AUVs* em operação na indústria de *offshore*, com uma projeção de demanda de aproximadamente 1150 em um período de 10 anos. (DOUGLAS-WESTWOOD..., 2011). A mesma consultoria prevê a expansão dos *ROVs* de 420 para 570 das classes de trabalho geral e pesado para atender as demandas da indústria de óleo e gás nos 5 anos seguintes.

Segundo Button et al. (2009) existiam mais de 1000 *ROVs* de pequeno porte em operação naquele ano. Apesar de não ser completamente consolidada a divisão dos *ROVs* e *AUVs* em classes e usos, neste trabalho serão consideradas as classes apresentadas por Rocha (2012), conforme as Tabelas 1, 2, 3 e 4.

Classe	Acionamento	Profundidade	Carga
Pequenos	Elétrico	até 300 m	Câmera e sensores
Elétricos de alta capacidade	Elétrico	até 6000 m	Alguns kg
Trabalho geral	Elétrico Hidráulico	até 1000 m	até 450 kg
Trabalho pesado	Hidráulico	até 3000 m	até 750 kg

Tabela 1: Classes dos *ROVs*

Outra forma de classificação utilizada na divisão dos UUVs em categorias é quanto a operação, sendo operações de cruzeiro e intervenção. Nas aplicações de cruzeiro não ocorre a interação física do veículo com o meio ambiente. O nome cruzeiro se deve principalmente ao fato do veículo estar em constante movimento durante a execução de sua tarefa.

Nas operações de intervenção, por outro lado, acontece a interação física entre o sistema e o meio ambiente, além de, em muitos casos exigir que o veículo permaneça parado em determinada posição durante a operação,

Classe	Usos
Portáteis	Inspeção e supervisão de mergulhadores
Elétricos de alta capacidade	Pesquisa científicas, usos militares e operação de painéis e válvulas
Trabalho geral	Construção, manutenção e inspeção de instalações de petróleo e gás
Trabalho pesado	Operações especiais de construção e manutenção instalações de petróleo e gás

Tabela 2: Uso dos ROVs

Classe	Autonomia	Carga	Lançamento
Portáteis	até 20h	até 45 kg	Manual
Leves	até 40h	até 220 kg	Por lançadores
Pesados	até 80h	até 1350 kg	Compatíveis com submarinos
Grandes	até 400h	até 10000 kg	Compatíveis com submarinos e navios

Tabela 3: Classes dos AUVs

Classe	Usos
Portáteis	Operações de inspeção e coleta de dados
Leves	Coleta de dados, mapeamento e inspeção
Pesados	Aplicações Militares
Grandes	Aplicações Militares

Tabela 4: Uso dos AUVs

superando as perturbações do meio.

O que tem-se percebido atualmente é a gradativa substituição dos *ROVs* por *AUVs* nas operações de cruzeiro, pois permitem maior liberdade de movimento, alcance e duração de missão. Nos *ROVs* constituem limitantes o *cordão umbilical* para a liberdade de movimentação e ao alcance e a necessidade de um operador durante toda a operação, enquanto que nos *AUVs* pode-se programar as atividades e o mesmo as executará (BUTTON et al., 2009).

1.2.3.1 *ROV*

Os *ROVs* são caracterizados principalmente pela conexão física com a base, através de um cordão umbilical (*tether*), responsável pela comunicação de dados com a base, geralmente ainda sendo responsável pela transmissão de energia ao *ROV* (ANTONELLI; FOSSEN; YOERGER, 2008; ROCHA, 2012).

Os *ROVs* podem ser utilizados em operações de inspeção e também de intervenção, sendo que neste caso contam com um sistema de manipulador que efetua a interação entre o *ROV* e o meio (ANTONELLI; FOSSEN; YOERGER, 2008; ROCHA, 2012).

Mesmo sendo muito utilizados, os *ROVs* apresentam algumas limitações importantes, como o efeito dinâmico indesejado gerado pelo cordão umbilical, que ainda restringe o movimento do veículo. Além disto, o veículo necessita de um operador, qualificado e habilidoso, que deve estar a todo instante operando o veículo, o que limita o tempo de duração das missões e aumenta seu custo (ANTONELLI, 2006; YUH et al., 1998; ROCHA, 2012).

Apesar de estarem perdendo espaço para os *AUVs* em algumas aplicações, os *ROVs* continuam a ter uma gama maior de aplicações. Segundo WestWood (2010) os *ROVs* podem ser utilizados em tarefas de inspeção e vistoria em óleodutos, *MCM* (*Mine Counter Measure* - Localizador de Minas) e aplicações de intervenção, enquanto os *AUVs* só teriam aplicabilidade nas áreas de vistoria e *MCM*.

Entretanto é inegável que os *ROVs* representam um passo importante para o desenvolvimento dos *AUVs*, pois muitos dos subsistemas são semelhantes em ambos, permitindo que muitos conhecimentos gerados no projeto de um *ROV* possam ser aplicados no projeto de um *AUV* e vice-versa.

A grande importância dos *ROVs* pode ser vista quando se pesquisa o mercado de sistemas subaquáticos não-tripulados, uma vez que a grande maioria das empresas somente fornece opções de *ROVs*, que são encontrados com diferentes números e posição dos propulsores, com ou sem manipuladores, uma variedade de sensores e câmeras. Quando as mesmas tem opção de

AUVs eles são em menor número e com menos possibilidades.

Segundo estimativas da consultoria WestWood (2010) a receita operacional gerada por *ROVs* deve atingir US\$3,2 bilhões até 2014, sendo incluídos aproximadamente mais 550 *ROVs* intervenção (*working class*) para 2014, considerando-se o mercado global.

1.2.3.2 *AUV*

Os *AUVs* são caracterizados por não possuírem a conexão física com a base e pela autonomia, que pode ser definida como a capacidade de executar tarefas sem a interação contínua com a base (operador). Para isso estes veículos dependem de um suprimento de energia, capacidade de planejar e executar tarefas e tomar decisões frente a eventos não planejados.

O primeiro *AUV* foi desenvolvido durante os anos 1983-85, o que significa um atraso muito grande se comparado com os primeiros *UUVs* que começaram a ser desenvolvidos na década de 1950. Mesmo assim até o início de 2001 poucos *AUVs* tinham sido construídos. Entre 2001 e 2005 ocorreu um crescimento expressivo, por conta dos avanços tecnológicos na sua construção, sendo que aproximadamente 76% dos *AUVs* em funcionamento em 2009 datam deste período (BUTTON et al., 2009; WESTWOOD, 2010).

Entretanto mesmo com o contínuo avanço que vem ocorrendo na robótica subaquática os *AUVs* ainda são utilizados essencialmente para operações de investigação, sem interação com o meio ambiente, devido especialmente a complexidade deste tipo de operação (ANTONELLI; FOSSEN; YOERGER, 2008; ROCHA, 2012).

Os *AUVs* possuem uma maior liberdade de movimento do que os *ROVs*, pois podem alcançar maiores distâncias e operar por períodos de tempo mais longos, tornando-os mais adequados a missões de coleta de dados científicos, mapeamento oceanográfico, inspeção de sítios e missões militares de longa duração (ROCHA, 2012).

Apesar de poderem alcançar maiores distâncias e consequentemente profundidades maiores, 80% dos *AUVs* existentes no mercado são para profundidades de até 600m, sendo que a grande maioria são para profundidades de 200m, e outra parcela significativa são para até 30m (WESTWOOD, 2010).

1.3 JUSTIFICATIVAS

Os ambientes de águas rasas tem grande importância para o desenvolvimento da sociedade, como mostrado no item 1.1. Entretanto os métodos de observação direta, comuns na investigação de superfícies emersas não são aplicáveis a regiões submersas (SOUZA, 2006). Da mesma forma, os métodos utilizados na investigação de águas profundas não são aplicáveis a águas rasas (PEREIRA; BARACUHY, 2008; SOUZA, 2006).

Justifica ainda o desenvolvimento deste projeto a situação atual dos sistemas de investigação de áreas submersas, neste trabalho, exclusivamente as águas rasas, que geralmente necessitam da interação constante com o operador, que em muitos casos deve estar embarcado, e tem dificuldade de operação em áreas costeiras com ondas.

A pesquisa em águas rasas é necessária para estudos do movimento dos sedimentos nas proximidades de praias, assim como o monitoramento de equipamentos e estruturas submersas. Hoje em dia a operação e monitoramento tem sido realizados com botes infláveis, jetski e Veículo de Superfície Não-Tripulado - USV (do inglês, *Unmanned Surface Vehicle*). Uma solução robótica com perspectivas de melhores na qualidade dos dados e diminuição dos custos, tem mostrado uma interessante possibilidade.

1.4 OBJETIVOS

Analisando os problemas envolvendo a investigação e exploração subaquática, especialmente em águas rasas, foram definidos os objetivos geral e específicos.

1.4.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo *apresentar a proposta de uma solução de um sistema de investigação de águas rasas, satisfazendo as especificações das operações submersas visando o baixo custo e a minimização de riscos aos operadores, em relação aos sistemas atuais.*

1.4.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar os sistemas de investigação subaquática, sistemas de localização e navegação no am-

biente submerso e os veículos para investigação de águas rasas

- Avaliar os aspectos da dinâmica das ondas e sua interação com um *UUV* (*Unmanned Underwater Vehicle* - Veículo Subaquático Não-Tripulado), para verificar as influências em sistemas submersos;
- Realizar estudo sobre os métodos de mapeamento subaquático de águas rasas;
- Identificar características necessárias para o mapeamento subaquática;
- Desenvolver o conceito de um sistema para mapeamento de águas rasas.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em sete capítulos além da introdução.

O Capítulo 2 apresenta um estudo sobre o mapeamento subaquático de águas rasas, onde são revisados alguns métodos de investigação, com foco na operação de batimetria. É tratado ainda nesse capítulo o princípio de funcionamento dos sistemas de investigação subaquática utilizados e ao final faz-se um levantamento do estado da arte referente a veículos de investigação subaquática para águas rasas.

No Capítulo 3 faz-se uma revisão bibliográfica das metodologias de navegação e localização utilizadas para veículos subaquáticos, em especial *towfish* e *AUVs* (*Autonomous Underwater Vehicle* - Veículo Subaquático Autônomo).

A dinâmica de ondas do mar, voltada para águas rasas, é abordada no Capítulo 4, onde ainda se analisa a interação entre um *UUV*, as ondas e o substrato.

No Capítulo 5 é feita uma revisão bibliográfica sobre projeto de produtos, onde são apresentadas algumas definições como produto, projeto, entre outras. É apresentada a metodologia *PRODIP*, dedicando especial atenção às fases de projeto informacional e projeto conceitual.

No Capítulo 6 a proposta do sistema de investigação subaquática, que atenda o objetivo da dissertação, o problema levantado, bem como as etapas do projeto informacional e conceitual, é apresentado um esboço da solução final.

O Capítulo 7 traz as conclusões deste trabalho, as perspectivas e trabalhos futuros.

2 EQUIPAMENTOS E MÉTODOS DE MAPEAMENTO SUBAQUÁTICO DE ÁGUAS RASAS

Neste capítulo serão discutidos neste capítulo alguns métodos de mapeamento subaquático, com especial atenção a batimetria, bem como os equipamentos envolvidos nesta investigação e os sistemas utilizados.

2.1 BATIMETRIA

A batimetria é a ciência responsável pela determinação e representação gráfica do relevo de fundo de áreas submersas. É expressa através das curvas batimétricas, que tem seu equivalente nas curvas de nível topográficas (PEREIRA; BARACUHY, 2008).

Originalmente a medição da profundidade de um corpo d'água era feita de maneira pontual, lançando-se um fio com um peso de chumbo preso à sua extremidade. O início científico da batimetria ocorreu entre 1872 e 1876 quando a expedição H.M.S. Challenger caracterizou o fundo oceânico, excetuando o Ártico, através de sondagens e dragagens (CORRÊA, 2007).

A batimetria teve um impulso com o desastre do Titanic e dois anos depois foi apresentado um equipamento que podia detectar a presença de Icebergs em um raio de 2 milhas (aproximadamente 3,219 km), embora não pudesse afirmar a direção do mesmo (CORRÊA, 2007).

A utilização do som para medição da espessura da coluna d'água, teve início apenas durante o período da 2ª Guerra Mundial, onde fontes acústicas (transdutores) eram instaladas nas embarcações emitindo uma onda e equipamentos de registro mediam o tempo de ida e volta do sinal acústico (onda) até o fundo do mar (lago, rio, etc.). Desta forma era determinada a profundidade dos mares (SOUZA, 2006).

Após este período a grande força impulsionadora do desenvolvimento batimétrico tem sido a necessidade da prospecção de hidrocarbonetos nos mares (SOUZA, 2006).

2.2 ECOBATIMETRIA

A ecobatimetria é a medição das profundidades submersas utilizando um ecobatímetro (PEREIRA; BARACUHY, 2008).

Outra forma de se definir a ecobatimetria é como um processo de batimetria utilizando-se o princípio da propagação da onda e o efeito da reflexão

da onda (eco).

Nos últimos anos a utilização do som para determinação da topografia submersa tem obtido êxito indiscutível (CORRÊA, 2007).

Ondas eletromagnéticas sofrem um forte enfraquecimento do sinal, visto que a água do mar é um meio ionizado, assim não atendem as necessidades da batimetria. Uma outra grande vantagem dos métodos acústicos é que são ensaios não destrutivos, já que as informações são obtidas através da superfície, sem a necessidade perfuração do substrato, o que é de grande importância no atual contexto de preservação ambiental (CORRÊA, 2007).

2.3 ECOBATIMETRO

Os ecobatímetros são os equipamentos utilizados no processo de batimetria através de ondas acústicas, ou seja, o ecobatímetro emite um sinal acústico (pulso) através de uma fonte acústica, este sinal percorre a coluna d'água (verticalmente), reflete na superfície submersa e retorna ao ecobatímetro onde um transdutor capta o sinal e converte em sinal elétrico. Um relógio interno registra o intervalo entre a emissão do sinal e o retorno do seu eco (PEREIRA; BARACUHY, 2008).

Conhecendo as propriedades de propagação da onda no meio aquático é obtida a profundidade do meio e vale salientar que o sinal emitido perde energia ao longo da coluna d'água, em uma razão de 4x2, em outras palavras, quando duplica-se a distância percorrida pelo sinal quadruplica-se a energia dissipada. Ressalta-se ainda que a perda é muito maior quando se trabalha no mar e em altas frequências. Tomando como exemplo um sinal de 200 kHz tem-se uma absorção de 10 dB/km na água doce e 50dB/km no mar; já um sinal de 38kHz tem absorção de 0,5 dB/km em água doce e 10 dB/km em água salgada (SOUZA, 2006).

Além de influir na atenuação do sinal, a frequência influi na qualidade da resolução ¹, sendo que as frequências baixas (30 kHz) têm um alcance maior no mar, porém a resolução é baixa. Ao contrário, uma frequência alta (600 kHz) sofre uma forte atenuação, e só poderá iluminar alvos próximos ao ecobatímetro, porém a resolução é alta (CORRÊA, 2007).

A evolução tecnológica, em especial da engenharia acústica e informática, tem permitido aumentar o número de pontos captados (o que significa melhorar a precisão da profundidade do meio submerso) e que os ecobatímetros coletam informações da natureza da superfície do fundo. Pode não apenas descobrir a natureza da camada mas também sua espessura. O que é de grande importância dentre outros exemplos para descobrir o nível de as-

¹ Grau de clareza de uma imagem, medido pelo número de pontos por polegada.

soreamento de corpos d'água. Também tem sido possível a emissão de dupla frequência, permitindo que um mesmo equipamento esteja apto a ser utilizado em águas rasas e profundas com boa resolução em ambos os casos (SOUZA, 2006).

O quanto o sinal conseguirá penetrar na superfície do fundo dependerá da frequência do sinal e da energia do mesmo, o que está diretamente relacionado ao porte dos equipamentos (SOUZA, 2006).

2.4 INVESTIGAÇÃO SUBMERSA

Os métodos de investigação submersa podem ser divididos em dois grupos, diretos e indiretos (SOUZA, 2006).

Formas diretas são caracterizadas por permitirem um contato direto (visual e/ou tátil) entre o pesquisador e o material de estudo. Neste caso, a superfície ou subsuperfície do meio submerso. São considerados métodos diretos a sondagem, amostragem, testemunhagem, fotografias e filmagens; sendo que alguns destes métodos permitem ainda ensaios laboratoriais com as amostras coletadas (SOUZA, 2006).

As formas indiretas são marcadas por caracterizarem as superfícies e subsuperfícies submersas a distância (sem contato direto). Neste grupo destacam-se os métodos geofísicos, pois constituem-se de uma série de ferramentas que permitem a observação e caracterização da superfície do fundo e das subsuperfícies, bem como a avaliação da espessura da coluna d'água (SOUZA, 2006). Neste trabalho se abordará apenas os métodos indiretos, que vem sofrendo maior avanço tecnológico e permitem o levantamento de uma área maior em um menor espaço de tempo.

2.4.1 Métodos Geofísicos

A Geofísica é a ciência que estuda a Terra com base nas leis da física e nas propriedades físicas das estruturas e materiais que compõem os meios geológicos. Desta forma as propriedades físicas dos materiais, tais como resistividade, condutividade elétrica, radioatividade, velocidade de propagação das ondas, fluxo de calor etc., podem ser utilizadas para determinação das camadas rochosas e sedimentares, bem como sua espessura, que constituem o fundo do corpo d'água (SOUZA, 2006).

Conforme já dito anteriormente, o desenvolvimento dos métodos geofísicos teve um grande crescimento durante a 2ª Guerra Mundial, principalmente devido aos interesses militares. A utilização da geofísica, através

de técnicas acústicas e magnéticas, foi rapidamente desenvolvida a fim de possibilitar a localização de submarinos e/ou instrumentos no fundo do mar (SOUZA, 2006; CORRÊA, 2007).

Mesmo com o fim da 2ª Guerra grandes investimentos continuaram a ocorrer no desenvolvimento dos métodos geofísicos, suportados pelos interesses militares. Pois devido à Guerra Fria tornou-se necessário conhecer melhor as superfícies e subsuperfícies do fundo de maneira a gerar rotas alternativas para os navios e submarinos (JONES, 1999).

Outro importante fator na evolução dos métodos geofísicos é o desenvolvimento tecnológico ocorrido nos últimos anos, tais como o desenvolvimento de novos materiais, novas ligas, cabos, fibra ótica, dentre outros. Vale ainda ressaltar a rápida evolução dos componentes eletrônicos, que tem tido seu tamanho minimizado enquanto sua capacidade é maximizada e o surgimento de computadores (SOUZA, 2006).

Um importante resultado da evolução tecnológica nos processos geofísicos para mapeamento submerso são os satélites orbitais, que tem permitido um posicionamento mais preciso e confiável dos pontos de avaliação. Vale salientar ainda que esta evolução tecnológica tem permitido uma maior capacidade de armazenamento, transmissão e processamento de dados, bem como novas formas de apresentação dos mesmos. A grande capacidade de processamento dos equipamentos atuais tem conseguido que os dados sejam coletados, processados e apresentados quase em tempo real, possibilitando que o pesquisador realize ajustes conforme as necessidades que vão sendo vislumbradas (SOUZA, 2006).

Este avanço tecnológico tem permitido ainda a construção de dispositivos de menor porte, possibilitando a investigação em áreas restritas (SOUZA, 2006).

As Tabelas 5 e 6 apresentam alguns dos meios de investigação de superfícies e subsuperfícies subaquáticas, divididos em objetivos e frequências de utilização.

Investigação de Superfície		
	Batimetria	Imageamento
Fontes	Ecobatímetros	Sonar de Varredura
Acústicas	(Ecocarácter, classificadores de fundo	Lateral e bat. varredura
Frequências	≥ 30 kHz	≥ 100 kHz

Tabela 5: Investigação de Superfícies, baseada em Souza (2006)

Investigação de Subsuperfícies		
Perfilagem Sísmica		
Prioridade	Resolução	Penetração
Frequências	2- 20 kHz	≤ 2 kHz

Tabela 6: Investigação de Subsuperfícies, baseada em Souza (2006)

2.5 INVESTIGAÇÃO DE ÁREAS SUBMERSAS RASAS

O estudo das áreas submersas rasas tem tido uma importância crescente a fim de suportar projetos de engenharia. Tem se requerido estudos mais detalhados, completos e confiáveis das áreas submersas, sejam para fins acadêmicos ou para aplicações, como portos, barragens e hidrovias, etc. do que as informações obtidas por métodos convencionais, tais como sondagem, observação, testemunho (PEREIRA; BARACUHY, 2008).

A investigação de áreas submersas rasas é parte determinante para a tomada de decisões em diferentes tipos de projetos, como, dragagem, instalação de dutos, detecção de erosão, análise de fluxo de água e mapeamento de leito (BENEDETTI, 2011).

Segundo Souza (2006), os métodos utilizados na investigação de áreas submersas rasas não se constituem uma simples transferência dos métodos utilizados em áreas emersas, ou em áreas submersas profundas, visto que as demandas são bastante distintas. Muito embora os métodos geofísicos de investigação de águas rasas sejam oriundos dos métodos utilizados originalmente na investigação profunda, que só foi possível devido aos interesses econômicos em torno do petróleo.

2.6 SISTEMAS BATIMÉTRICOS DE VARREDURA - SISTEMAS MULTI-FEIXES

Inicialmente os sistemas batimétricos conseguiam medir apenas um ponto localizado verticalmente embaixo do embarcação, significando que para obter um mapa com boa resolução era preciso que fossem traçados perfis batimétricos paralelos o mais próximos possíveis. Ainda assim, era possível que importantes informações sobre o fundo não fossem identificadas, podendo causar grandes problemas (SOUZA, 2006).

Este problema pode ser solucionado, na década de 60, com a criação do ecobatímetro de multi-feixes, baseado no princípio de multifontes (*Multi-beam*), que só se tornou possível devido aos avanços tecnológicos

(SOUZA, 2006).

Este sistema é composto por uma série de transdutores fixados no casco da embarcação, que emitem sinais para ambos os lados da rota de navegação com ângulos muito próximos, mas diferentes, como mostra a Figura 1.



Figura 1: Sistema Multifontes - Feixe de Sinais (SOUZA, 2006)

Atualmente esses sistemas possuem alta sofisticação, permitindo a geração de mapas de alta precisão, porém apenas da profundidade, sem fornecer dados a cerca da natureza das superfícies do fundo e suas espessuras (Figura 2).

Souza (2006) salienta como grande vantagem dos sistemas multi-feixes a possibilidade de geração em tempo real do mapa batimétrico da área coberta pelo perfil em execução. Por outro lado, uma desvantagem associada a isto é a geração de uma grande quantidade de dados que resulta na necessidade de sistemas de armazenamento e processamento de dados de grande porte.

Sistemas multi-feixes podem ser utilizado em estudos geológicos básicos, de maneira a apoiar o planejamento de levantamentos mais detalhados e de alta resolução onde se verificar a necessidade, visto que, estudos mais detalhados e de maior resolução geralmente apresentam maiores dificuldades operacionais e custos mais elevados.

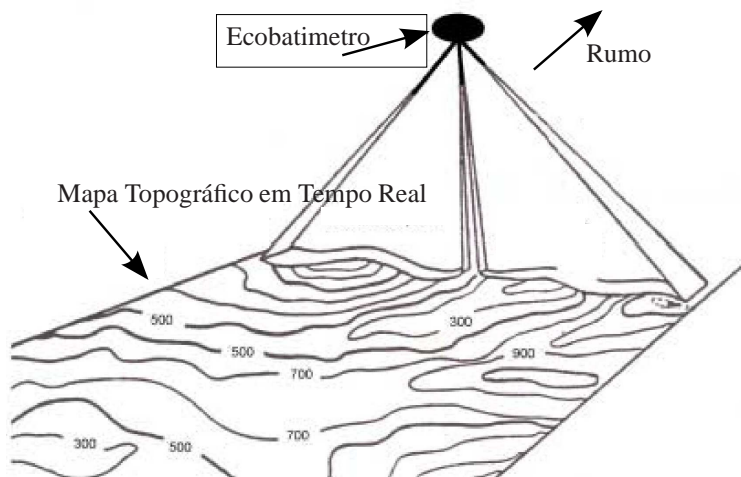


Figura 2: Sistema Multifontes - Resultado, adaptado de (SOUZA, 2006)

2.7 SISTEMAS MULTICANAIS

Os sistemas multicanais são uma alternativa aos sistemas multi-feixes, muito utilizados nos estudos de portos e hidrovias nos EUA e Europa. Neste sistema uma série de transdutores são instalados lateralmente e equidistantes ao longo de uma estrutura transversal a rota de navegação, podendo ser rebocada ou fixadas para fora da estrutura da embarcação, como mostra a Figura 3 (SOUZA, 2006).

2.8 ESTADO DA ARTE - VEÍCULOS PARA ÁGUAS RASAS

Nesta seção será feito um levantamento do estado da arte de veículos para investigação subaquática de águas rasas, abordando principalmente veículos desenvolvidos e/ou utilizados em centros de pesquisa, além dos veículos utilizados por empresas para levantamentos batimétricos.

2.8.1 PUC-Rio - Argo

A Pontifícia Universidade Católica (PUC-Rio), desenvolveu um trabalho de investigação de áreas submersas na Lagoa de Jacarepaguá, a fim de

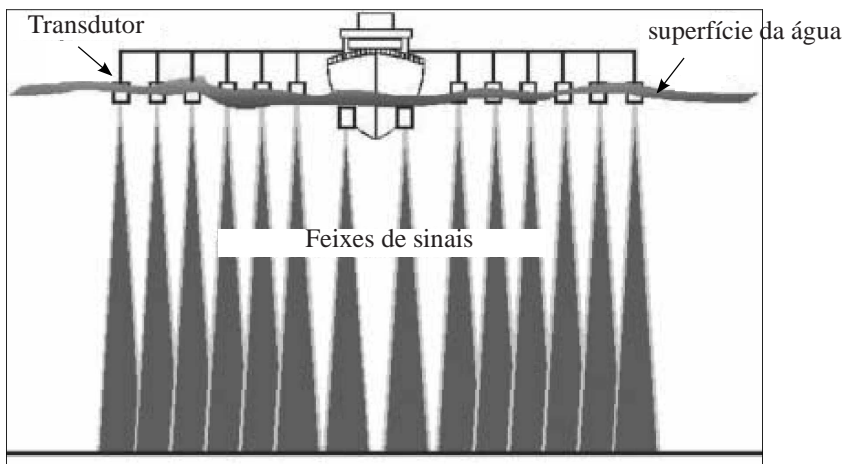


Figura 3: Sistema Multicanais adaptada de (SOUZA, 2006)

levantar o relevo da lagoa em um primeiro momento. Depois foram feitas coletas de amostras de sedimentos para ensaios de caracterização geotécnica.

Para isto foi utilizado um veículo anfíbio, modelo 8x8 Argo750EFI, comercializado pela Ontario Drive & Gear Limited Ltd. (Figura 4).



Figura 4: Argo (BENEDETTI, 2011)

Esse veículo foi utilizado por permitir o fácil acesso à Lagoa (entrada e saída da água), além de proporcionar segurança e conforto aos ocupantes, já que é equipado com bancos e capota e pela estabilidade que auxilia na realização dos trabalhos (BENEDETTI, 2011).

A velocidade do veículo na terra é de 20 km/h e uma velocidade na

água de 1 km/h ($\approx 0,54$ nós), para auxiliar no acesso a locais de difícil acesso foi acoplado um motor de popa de maneira a permitir que o veículo obtivesse uma velocidade média de 3 km/h ($\approx 1,62$ nós) na água (BENEDETTI, 2011).

Para o processo de batimetria foi utilizado um Sistema de Posicionamento Global (*GPS*² do inglês, *Global Positioning System*) integrado a um sonar, modelo A50D 5"Chartplotter/ Fishfinder comercializado pela Raymarine, Inc.

O sonar foi instalado no engate do reboque ao lado do suporte para o motor de popa (Figura 5), o que garantiu que a turbulência gerada pelo motor de popa não interferisse nas leituras do sonar (BENEDETTI, 2011).

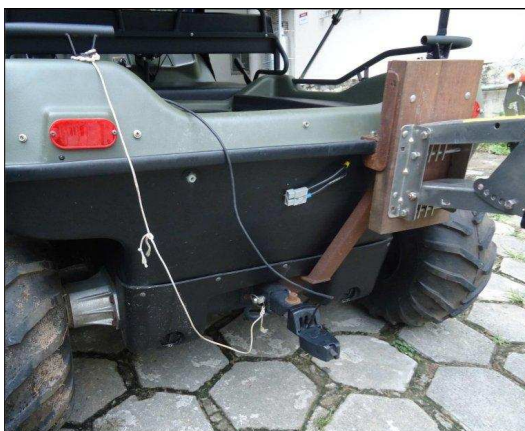


Figura 5: Posição do Sonar e Motor de Popa (BENEDETTI, 2011)

2.8.2 Bote Inflável

No levantamento batimétrico e sonográfico (sonar de varredura lateral) no canal de acesso e áreas de berços do sítio previsto para a instalação do terminal marítimo Mar Azul em São Francisco do Sul - SC, realizado pela empresa (MARTETHYS LEVANTAMENTOS OCEANOGRÁFICOS E ESTUDOS AMBIENTAIS, 2012) foi utilizado um bote inflável, onde fixou-se um Sistema de Posicionamento Global Diferencial (*DGPS*³ do inglês, *Differential Global Positioning System*) e um transdutor de 200kHz. O bote inflável foi utilizado para rebocar o Sonar de Varredura Lateral e o arranjo

²O princípio de funcionamento do *GPS* pode ser encontrado em Santana e Lima (2011).

³O princípio de funcionamento do *DGPS* pode ser encontrado em Sabatini e Palmerini (2008).

montado pode ser visto na Figura 6.

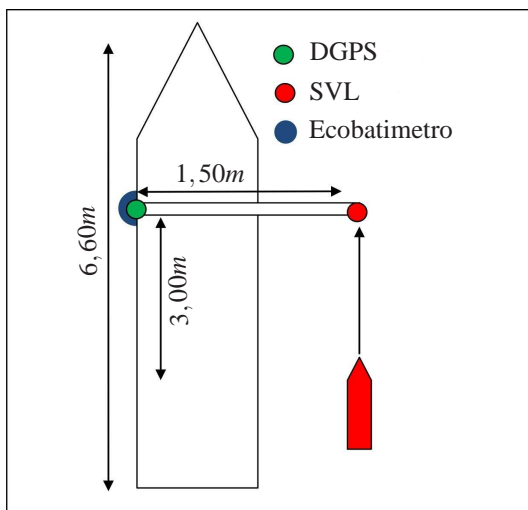


Figura 6: Arranjo dos equipamentos no veículo (MARTETHYS LEVANTAMENTOS OCEANOGRÁFICOS E ESTUDOS AMBIENTAIS, 2012)

- Ecobatimetro - ODOM - modelo ECHOTRAC CVM de alta resolução (200 KHz de frequência);
- Sonar de Varredura Lateral - Imagenex - modelo SPORTSCAN de dupla frequência;
- *DGPS* - Tech Geo - Modelo GTR-G2.

2.8.3 Veículo de Superfície Não-Tripulado

Na Universidade Positivo, foi montado um veículo de superfície não-tripulado, como trabalho de conclusão de curso dos alunos Santana e Lima (2011) curso de engenharia da computação.

O objetivo do projeto era o desenvolvimento de um módulo robótico aquático para mapear o fundo de lagoas e represas. Para isto partiu-se de um barco de brinquedo com controle remoto equipado com dois motores que foram mantidos (SANTANA; LIMA, 2011).

- *DGPS* - Skytraq - modelo VENUS634FLPx;

- Sonar - HawkEye - modelo D11S;
- Comunicação sem Fio - MaxStream - modelo Xbee-Pro;
- Microcontroladores - PIC16F877A e PIC16F873A.

2.8.4 Florida Atlantic University AUV

Um AUV da série OEX (*Ocean Explorer Vehicle*) projetado e construído na *Florida Atlantic University* foi desenvolvido de maneira a permitir a instalação de diversos sensores a fim de possibilitar a pesquisa e o mapeamento de águas costeiras (rasas) (DHANAK et al., 1999).

- Comprimento: Aproximadamente 2,4m;
- Diâmetro: 530 mm;
- Peso: A partir de 181 kg (em solo);
- Autonomia: Até 10 h a uma velocidade de 3 nós;
- Profundidade máxima: 300m.
- ADCP ⁴ (*Acoustic Doppler Current Profiler*);
- CTD - Sensor de condutividade, temperatura e profundidade (*Conductivity, Temperature, Depth sensor*);
- GPS;
- Watson-Block sensor de movimento;

2.8.5 LAUV - FEUP

O Laboratório de Sistemas e Tecnologias Subaquáticas (LSTS) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) possui um Veículo Subaquático Autônomo Leve (LAUV do inglês, *Light Autonomous Underwater Vehicle*) destinado a investigação subaquática de águas rasas. Abaixo são apresentadas algumas características do veículo (LSTS, 2013).

- Comprimento: A partir de 1,1m;

⁴O princípio de funcionamento do ADCP pode ser encontrado em Gamaro (2007), Morlock (1996).

- Diâmetro: 150 mm;
- Peso: A partir de 18 kg;
- Autonomia: Até 8h a uma velocidade de 3 nós;
- Comunicação: Wi-fi e 3G;
- Profundidade máxima: 100m.

Esse veículo é capaz de realizar a missões militares e também de coletar dados biológicos, tais como a salinidade, temperatura, turbidez ou de oxigênio dissolvido a partir de uma área e cria mapas 2D e 3D.

É ainda capaz de mapear as áreas com sonar para encontrar qualquer tipo de alvos, tais como naufrágios, sítios arqueológicos ou quaisquer outras estruturas submersas.

- *INS*;
- *CTD*;
- Ecobatímetro (675 kHz);
- Câmera;
- *Multibeam* (260 kHz);
- *SideScan* Sonar;

O veículo foi pensado ainda de maneira a permitir a adição de sensores conforme a necessidade da missão. O LSTS ressalta ainda que uma grande vantagem deste veículo é a capacidade de navegar independente de referências externas.

2.8.6 Ifremer - *Aster^x* e *Idef^x*

O Ifremer (*Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer*) dispõem de dois AUVs de porte médio, segundo classificação do próprio instituto para investigação de águas costeiras e profundas (IFREMER, 2013).

- Comprimento: A partir de 4,5m;
- Peso: 800 kg;

- Velocidade: 2 - 6 nós (3 nós velocidade ótima ⁵);
- Autonomia: 14h ou 80 km (elétrico) ou 300 km com células combustíveis H_2O_2 ;
- Equipe para operação: 3 pessoas.
- *INS + DVL*;
- *CTD*;
- *ADCP*;
- *GAPS (Global Acoustic Positioning System)*;
- *Multibeam* - EM2000, EM2040 (Kongsberg);
- Ecobatímetro - ECHOES 10000 (Ixsea) (5 - 15 kHz);
- Magnetômetro;
- *Fisher Sounder*.

2.8.7 NOC - The National Oceanography Centre

O NOC conta com o veículo comercial *Slocum Glider* fabricado pela Teledyne Webb Research. Este veículo pode ser equipado com baterias, alcalina (A) ou de lítio (L) ou ainda funcionar como uma máquina térmica a partir da energia do ambiente. Serão apresentados abaixo os dados referentes aos veículos equipados com baterias (CENTRE, 2013; RESEARCH, 2013).

- Comprimento: 1,5m;
- Diâmetro: 213 mm;
- Peso: 54 kg;
- Autonomia: 15 - 50 dias (A) e 4 - 8 meses (L) ;
- Velocidade: 0,68 nós;
- Profundidade: 4 - 200m ou 40 -1000m.
- *GPS*;

⁵A velocidade ótima é considerada de maneira a permitir a maior autonomia

- Sensor de pressão;
- Altimetro.

Este veículo apresenta uma extensa lista de sensores opcionais a serem adicionados ao veículo pelo fabricante (RESEARCH, 2013).

Neste seção serão apresentadas na Tabela 7 as principais características dos veículos pesquisados de maneira a facilitar a leitura e comparação, onde: NA significa *Not Available* (Não disponível). E na Tabela 8 serão apresentados os principais equipamentos que compõem este veículos.

Características dos Veículos Levantados				
Veículo	Dimensões	Peso	Velocidade na água	Autonomia
PUC - ARGO	NA	521 kg	3 nós	8 h (27l)
Bote	NA	NA	NA	NA
USV	NA	NA	NA	NA
OEX - Florida	2,4 x 0,53 m	181 kg	3 nós	10 h
LAUV - FEUP	1,1 x 0,15 m	18 kg	3 nós	8 h
<i>Aster^x</i> e <i>Idef^x</i>	4,5 x NA m	800 kg	2 - 6 nós	14 h ou 80 km
NOC - <i>Glider</i>	1,5 x 0,213 m	54 kg	0,68 nós	15 - 50 dias (A) 4 - 8 meses (L)

Características dos Veículos Levantados	
Veículo	Profundidade Max. de Operação
PUC - ARGO	Superfície
Bote	Superfície
USV	Superfície
OEX - Florida	300 m
LAUV - FEUP	100m
<i>Aster^x</i> e <i>Idef^x</i>	NA
NOC - <i>Glider</i>	200 ou 1000m

Tabela 7: Características dos Veículos Levantados

2.8.8 Outros Veículos

Varios outros veículos podem ser encontrados na literatura, em páginas na web de centros de pesquisa e empresas. Destacando-se o R/V Kelpfly,

Equipamentos dos Veículos Levantados				
PUC - ARGO	Sonar	GPS		
Bote	Ecobatimetro	SVL	DGPS	
USV	Sonar	DGPS		
OEX - Florida	ADCP	CTD	Sensor de Mov.	GPS
LAUV - FEUP	Ecobatimetro	Multibeam	SVL	Câmera
	CTD	INS		
Aster ^x e Idef ^x	Ecobatimetro	Multibeam	ADCP	INS + DVL
	Fisher Sound	Magnetometro	CTD	GAPS
NOC - Glider	Sensor de Pressão	Altimetro	GPS	

Tabela 8: Equipamentos dos Veículos Levantados

que é uma junção de um jetski e um bote inflável e um sistema de propulsão semelhante ao de um *Hovercraft* desenvolvido para investigação em águas ultrararas e florestas laminariales, capaz de se locomover a uma velocidade de até 25 nós e uma velocidade de investigação de 1 a 7 nós (CALIFORNIA STATE UNIVERSITY, 2013).

Outro veículo encontrado é o RC-S2, um barco controlado remotamente com capacidade de ser controlado a uma distância máxima de 500 m, podendo medir profundidades de 0,5 a 80 m, a uma velocidade de 1m/s (CPE, 2013).

2.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foram abordados os métodos e equipamentos de mapeamento subaquático de águas rasas, onde foram apresentados o que é batimetria, ecobatimetria, um ecobatimetro, posteriormente se abordou a investigação subaquática, entrando em métodos de investigação. Por fim tratou-se do levantamento do estado da arte para veículos de investigação subaquática.

Um resultado bastante importante deste capítulo foi descobrir o modo como a investigação subaquática em águas rasas é feita, que veículos são utilizados, de maneira a constituir uma importante base de informações para o projeto de um novo sistema.

No próximo capítulo serão abordados os sistemas de navegação e localização para os sistemas de investigação subaquática, visto que a localização dos veículos submersos é um grande problema a ser solucionado.

3 METODOLOGIAS DE NAVEGAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DE VEÍCULOS SUBAQUÁTICOS

Neste capítulo serão abordados os sistemas de navegação e determinação da posição, trajetória do veículo. Para isso, primeiramente serão discutidos os problemas relacionados à navegação de UUVs e os métodos de navegação mais comuns encontrados na literatura. Posteriormente vai se analisar o problema da determinação da trajetória executada pelo veículo durante a tarefa, visto que para sistemas de investigação subaquática é extremamente importante saber a posição onde foram feitas as medições e coletas de dados.

3.1 SISTEMAS DE REFERÊNCIA

Para definir a posição de um objeto é necessário especificar o sistema de coordenadas no qual o objeto será representado, entretanto existem diversos sistemas de coordenadas que podem ser utilizados (ZANONI, 2012).

Ainda segundo Zanoni (2012) os principais sistemas de referência são:

- ECI (*Earth Centered Inertial*): o sistema de referência tem sua origem coincidindo com o centro de massa da Terra, com o eixo x apontando para o ponto vernal ¹ da Terra, o eixo z coincidindo com o eixo de rotação médio da Terra e o eixo y orientado pela regra da mão direita.
- ECEF (*Earth Centered Earth Fixed*): o sistema também tem sua origem no centro de massa da Terra, com o eixo x apontando para o ponto de encontro entre o meridiano de Greenwich e a linha do Equador, o eixo z aponta para o norte e o eixo y é definido pela regra da mão direita.
- LPT (*Local Point Tangent*): São sistemas locais caracterizados por considerar que no ponto onde ocorre a navegação a superfície da Terra é plana. Um sistema de coordenadas baseado no sistema LPT é o NED (*North East Down*): Neste sistema a origem pode ser determinada em qualquer ponto do globo terrestre, sendo o eixo x apontando para o norte geográfico, o eixo z apontando para o centro do globo e o eixo y obtido pela regra da mão direita.

¹Ponto Vernal é um ponto na linha do Equador, ocupado pelo Sol no equinócio de primavera do hemisfério norte, isto é, quando o Sol cruza o equador a partir do hemisfério sul (FILHO; SARAIVA, 2012).

- RPY (*Roll Pitch Yaw*): É o sistema fixado no veículo, sendo o eixo x (*Roll*) orientado no sentido do movimento nominal do veículo, o eixo y (*Pitch*) ortogonal a x apontando para a direita (no plano tangente a superfície da Terra) e o eixo z (*Yaw*) encontrado pela regra da mão direita.

Neste trabalho optar-se-a pela utilização de um sistema de referência tangencial local (LPT) com as coordenadas NED, por ser um sistema amplamente utilizados na navegação de veículos (ZANONI, 2012).

3.2 SISTEMA DE NAVEGAÇÃO DE SISTEMAS DE INVESTIGAÇÃO SUBAQUÁTICA

Durante tarefas de reconhecimento do fundo do mar e monitoramento ambiental a navegação tem um papel importante, visto que a precisão dos resultados depende em parte da precisão da navegação (YAN et al., 2010).

Um sistema de navegação preciso é tão importante quanto complexol de se obter, segundo Merchant, Austin e Vaganay (2008), visto que sistemas como *GPS*, utilizados por Veículos Não-Tripulados de Superfície - *USV* (do inglês, *Unmanned Surface Vehicle*), Veículos Terrestres Não-Tripulados - *UGV* (do inglês, *Unmanned Ground Vehicle*) e Veículos Aereos Não-Tripulados - *UAV* (do inglês, *Unmanned Aerial Vehicle*), não funcionam no meio submerso. Entre os itens 3.2.1 e 3.2.3 serão apresentados alguns sistemas de navegação empregados em *AUVs* e nos itens 3.2.5 e 3.2.6 serão apresentados sistemas utilizados em *towfishes*.

3.2.1 Navegação Estimada

Navegação estimada é o método de determinar a posição provável do navio a partir de uma posição conhecida, isto é, utilizando somente às características do seu movimento (MARINHA DO BRASIL, 1993).

Segundo Marinha do Brasil (1993), a navegação estimada tem especial relevância por não depender de meios externos a embarcação (veículo), à medida que independe de informações provenientes do exterior.

O método convencional de navegação estimada realizado por embarcações na superfície d'água é feito tradicionalmente a partir dos dados de direção, proveniente da agulha da bússola, e do odômetro, podendo este ser substituído pelos dados de velocidade e tempo, não levando em conta o efeito de corrente. Ao incluir este fator se terá a posição estimada corrigida.

O sistema de navegação estimada é o mais simples utilizado em *AUVs*.

Seguindo o modelo das embarcações de superfície ele combina os dados da bússola (digital), profundidade (sensor de pressão) e velocidade. Nesta aplicação o sensor de velocidade não mede a velocidade do veículo em relação ao fundo e sim baseado na velocidade de rotação das hélices por minuto (RPM) (MERCHANT; AUSTIN; VAGANAY, 2008).

Este método é bastante apropriado para missões curtas onde a posição absoluta não é necessária, não sendo adequado a muitas aplicações (MERCHANT; AUSTIN; VAGANAY, 2008).

3.2.2 *Inertial Navigation System (INS)*

Os sistemas de navegação inercial são caracterizados por determinar os deslocamentos através das medições das acelerações no eixos sobe/desce (*up/down*), esquerda/direita (*left/right*) e frente/trás (*forward/backward*), sendo precisos para pequenos trechos. Alguns desses sistemas são ainda capazes de perceber a rotação da terra.

O método de navegação baseado no *INS* difere da navegação estimada, primeiramente pois em sistemas de navegação inercial se utilizam as acelerações e/ou a velocidade do veículo (medida em relação a água e ao fundo) enquanto na navegação estimada se utiliza as velocidades a partir da rotação do motor (propulsor). Além disso, os *INS* utilizam além da bússola, acelerações angulares para encontrar a orientação do veículo.

Este sistema é empregado em barcos e aviões, com o auxílio dos dados de posição obtidos pelo sistema de *GPS*. Entretanto para os *AUVs* o sinal do *GPS* só pode auxiliar enquanto o veículo estiver na superfície (MERCHANT; AUSTIN; VAGANAY, 2008).

Sistemas baseados em *INS*, principalmente em *INS* de baixo custo, apresentam erros de posicionamento inaceitáveis se não tiverem o auxílio de outros sistemas, onde se destaca o uso do sistema *DVL* (*Doppler Velocity Logger*) para melhorar a precisão dos dados de posicionamento do veículo (YAN et al., 2010).

Por outro lado Mandt, Gade e Jalving (2001) afirmam que existem diversas razões para trocar um sistema de navegação estimada baseado no *DVL* por um sistema inercial (*INS*), ressalta-se que o sistema inercial auxiliará na correção dos erros associados a sistemas de posicionamento acústico. Também é importante o auxílio de outros sensores na navegação, visto que sistemas inerciais tem seu erro aumentado com o tempo. São citados como sistemas para auxiliar a navegação o *DGPS* (*GPS* diferencial), *DVL*, sensor de pressão e giroscópio.

O sensor de pressão nestes casos é utilizado para descobrir a profundi-

dade que o veículo se encontra, já o giroscópio é empregado na medição das acelerações angulares do veículo, o que permite encontrar sua orientação.

3.2.3 Doppler Velocity Logger (DVL)

O medidor de velocidade doppler (*DVL*) é utilizado para medir a velocidade e a profundidade do veículo em relação ao fundo do mar. O *DVL* é o mais importante sistema desenvolvido para ser adicionado a *INS* (MERCHANT; AUSTIN; VAGANAY, 2008).

O *DVL* utiliza quatro feixes acústicos para emitir pulsos sonoros em direção ao fundo do mar, e na captação de seus ecos. Calcula-se a profundidade baseado no tempo entre o pulso ser emitido e o retorno do seu eco, a velocidade em relação ao fundo é determinada pela medição do desvio da frequência das ondas que retornam ao veículo.

O sistema do tipo *DVL* pode ser utilizado tanto para medir a velocidade do veículo em relação ao solo, como também para medir a velocidade em relação ao fluido (ZANONI, 2012).

Yan et al. (2010) ressalta que o sistema de *INS* com o auxílio do *DVL* tem um custo muitas vezes o torna inviável para aplicações práticas.

3.2.4 Long Base Line (LBL)

O LBL é o sistema mais preciso, mas também o mais caro, demorado e perigoso (CHANCE et al., 2000).

Este método pode ser feito de duas formas distintas. No primeiro método se deve colocar uma rede de faróis (transpondedores de posicionamento acústico) sobre o fundo do mar. Então é feita uma calibragem do sistema, que deve ser realizado a cada operação do LBL e após a operação é necessária a recuperação dos transpondedores, o que constitui uma tarefa muito perigosa e dispendiosa (CHANCE et al., 2000).

A segunda forma é caracterizada por várias boias equipadas com sensores de posicionamento acústico a bordo, de maneira a permitir que o *AUV* possa estimar sua distância com relação as bóias. São necessárias pelo menos três bóias para que o *AUV* possa triangular sua posição. Apesar da precisão desse sistema ele conta com a desvantagem de ser necessário um operador para implantar e ancorar as boias antes da operação e depois recolhe-las (MERCHANT; AUSTIN; VAGANAY, 2008).

3.2.5 Two Vessel Ultra Short Base Line

O sistema *two vessel USBL* é caracterizado por necessitar de dois barcos para operação, sendo um para rebocar o veículo, aqui também chamado de *towfish* e o segundo barco, ou barco caça, tem a função de seguir em cima do *towfish* e através de sinais acústicos acompanhar a posição do *towfish* e transmitir esta posição para o barco principal, conforme mostra a Figura 7 (CHANCE et al., 2000).

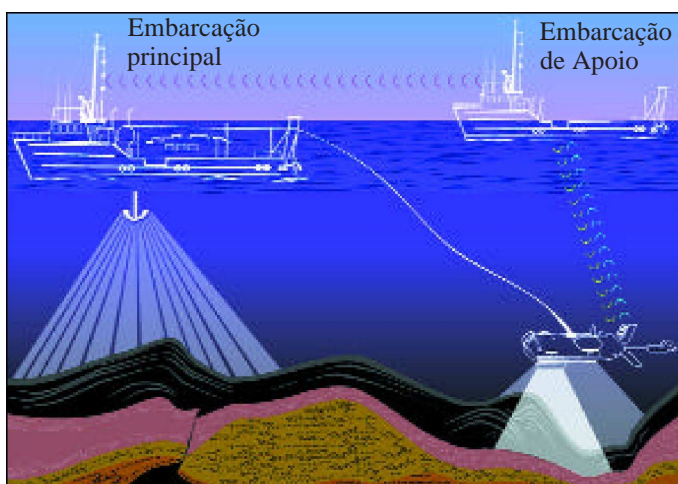


Figura 7: Two Vessel USBL Adaptada de (CHANCE et al., 2000)

3.2.6 Single Vessel Ultra Short Base Line

No sistema *single vessel USBL* o barco principal (rebocador) também é responsável por localizar o *towfish* através de sinais acústicos. Entretanto este sistema está limitado a profundidades inferiores a 1000 metros, visto que é necessário um cabo com comprimento de pelo menos 2,5 vezes a profundidade da água para operações de pesquisa e a capacidade acústica destes sistemas USBL é geralmente menor do que 2500 metros (CHANCE et al., 2000).

3.3 SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO

Na investigação de áreas submersas a capacidade de localizar de maneira precisa a informação obtida é um dos aspectos mais expressivos a ser abordado (SOUZA, 2006).

3.3.1 Sistema de Posicionamento Acústico

Os sistemas de posicionamento acústico baseados em redes acústicas (*baselines*) têm tido grande importância na robótica subaquática, visto que sistemas empregados em veículos de superfície, como o *GPS*, não tem aplicabilidade no ambiente submersa, já que tem suas ondas eletromagnéticas atenuadas.

Este tipo de sistema tem um princípio de funcionamento bastante simples e conhecido: o veículo emite um sinal acústico e recebe uma resposta do farol acústico. O farol sempre leva o mesmo tempo para responder o sinal recebido do veículo, logo pode-se descontar este tempo do total registrado pelo veículo (ZANONI, 2012). Sabendo-se a velocidade de propagação da onda acústica na água, pela Equação 3.1 pode se encontrar a distância entre o veículo e o farol,

$$D = v * \Delta t \quad (3.1)$$

onde Δt é metade do tempo entre a emissão do sinal do veículo e a chegada da resposta do farol, subtraindo o tempo de resposta do farol.

Um variável muito importante nesse tipo de sistema é a velocidade de propagação do som na água, que deve ser estimada em cada nova missão, já que ela depende da temperatura, salinidade e pressão entre outros fatores.

Na Tabela 9 são classificados os sistemas de posicionamento acústicos baseados em redes acústicas.

Tipo do Sistema	Distância entre transdutores da linha de Base	Característica de Medição
LBL	50 m \approx 6000 m	Somente posição
SBL	10 m \approx 50 m	Posição e possível Direção
USBL	0,01 m	Posição e Direção

Tabela 9: Classificação dos Sistemas de Posicionamento Acústico, baseada em (ZANONI, 2012)

3.3.1.1 *Long Base Line* (LBL)

O sistema *Long Base Line* é composto por um série de transponders fixados em posições bem definidas, que permite a localização do veículo durante sua operação, conforme a Figura 8. Nos sistemas de posicionamento acústicos, o veículo emite um sinal para os transponders que respondem cada um com uma frequência diferente para que o veículo possa encontrar sua posição (MERCHANT; AUSTIN; VAGANAY, 2008; ZANONI, 2012).

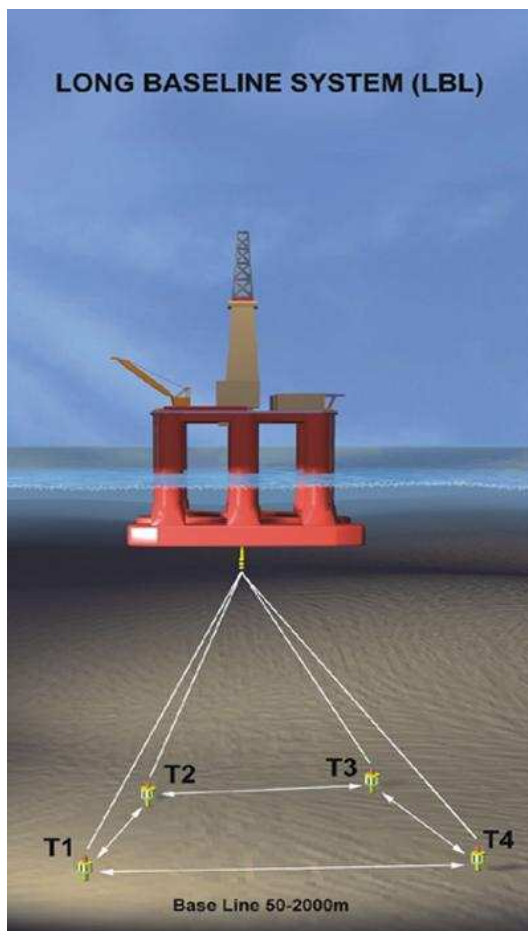


Figura 8: Long Base Line (KONGSBERG, 2013)

Neste método deve-se considerar o veículo parado ou com uma velocidade muito inferior a velocidade de propagação do som na água. Sabendo-se a distância entre o veículo e os transpondêres e a posição dos mesmos pode-se encontrar com boa exatidão a posição do veículo (ZANONI, 2012).

Uma grande vantagem deste método é que se utiliza apenas um transdutor no veículo e o mesmo fornece dados com boa exatidão mesmo em grandes áreas (ZANONI, 2012).

Como desvantagens vale salientar a complexidade do sistema, custo elevado dos equipamentos, instalação e recolhimento dos componentes e a necessidade de calibração a cada operação. (MERCHANT; AUSTIN; VAGANAY, 2008; DEPTH, 2012; ZANONI, 2012)

3.3.1.2 *Short Base Line (SBL)*

O SBL segue o mesmo princípio do LBL, mas neste caso são necessários pelo menos três transdutores, que podem ser fixados no solo marítimo ou no fundo de embarcações de superfície, como mostra a Figura 9. Mas nesse caso o veículo pode funcionar como emissor de ondas ou receptor, permitindo assim que a posição seja calculada no próprio veículo ou mesmo na base (KONGSBERG, 2013).

A precisão do sistema depende da distância entre os transdutores. Quanto mais longe os transdutores maior a precisão de posição (ZANONI, 2012).

Como vantagens deste sistema o autor exemplifica a fácil utilização do sistema, devido a baixa complexidade, boa precisão e a não necessidade de fixar os transdutores no fundo do mar.

Quanto as desvantagens para o posicionamento absoluto do UUV são necessários sistemas adicionais ao barco (base) e a calibração das estruturas onde estão os transpondêres embora nem sempre ela seja feita de maneira adequada (ZANONI, 2012).

3.3.1.3 *Ultra Short Base Line (USBL)*

O sistema USBL, também conhecido como SSBL (*Super Short Base Line*), é caracterizado por ter os transpondêres presos à embarcação base bastante próximos (Figura 10), com distâncias inferiores a 10 cm, que emitem um sinal acústico *ping* a fim de localizar o veículo e por um agregado de receptores no veículo (KONGSBERG, 2013; ZANONI, 2012).

Este método se baseia em dois princípios básicos, segundo Depth

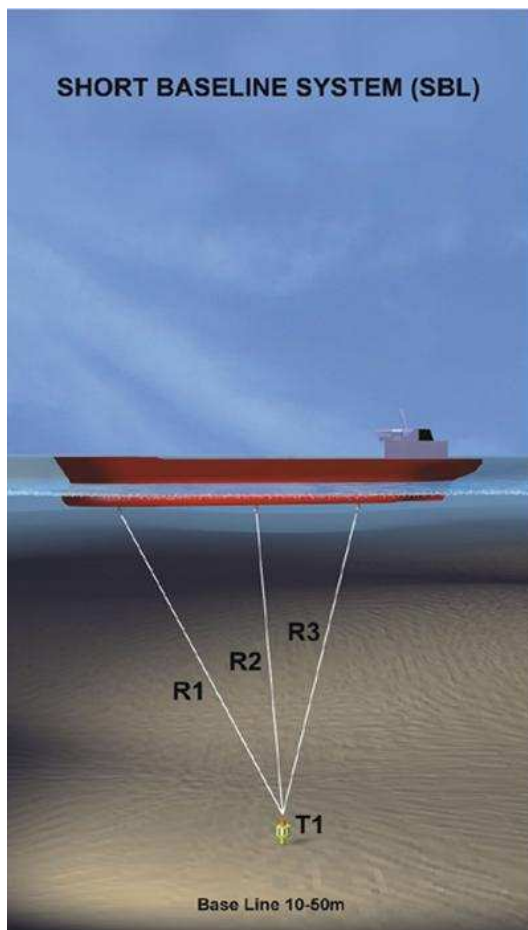


Figura 9: Short Base Line (KONGSBERG, 2013)

(2012). O primeiro, semelhante aos sistemas SBL e LBL é que pode-se encontrar a distância entre os dois pontos (base e UUV) através da medição do tempo para uma onda acústica percorrer uma distância, sabendo-se a velocidade de propagação da onda no meio.

O segundo princípio permite a determinação da direção (*bearing*) através da diferença discreta de fase na recepção do sinal nos transdutores presentes no transceptor (base). Isto permite ao sistema USBL determinar a diferença tempo-fase para cada transdutor e assim calcular o ângulo de chegada do sinal.

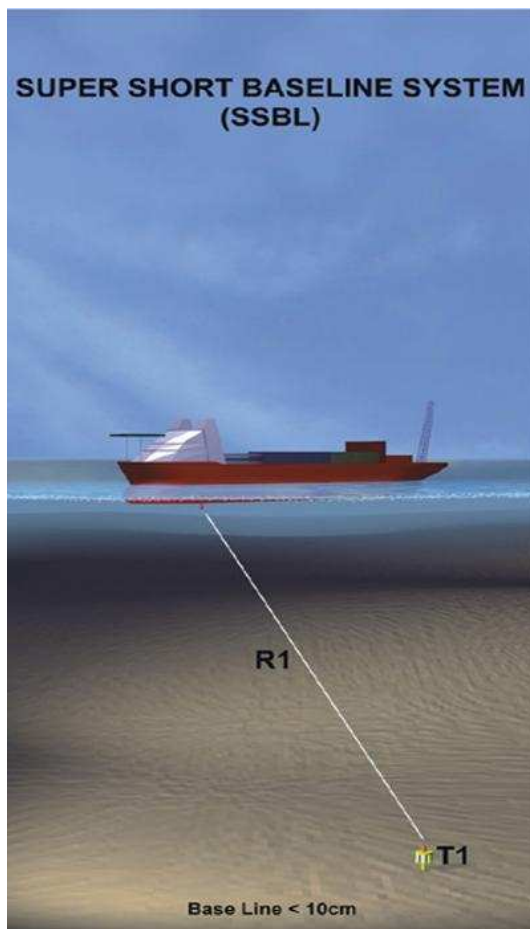


Figura 10: Ultra Short Base Line (KONGSBERG, 2013)

As vantagens desse tipo de sistema são a fácil utilização, a não necessidade de transponders no fundo do mar e boa exatidão. Porém, o sistema exige uma rigorosa calibração e o posicionamento absoluto depende da utilização de outros sensores como giroscópio e profundímetro (ZANONI, 2012).

Os sistemas USBL podem ainda ser operados sem alterar nenhum componente, desde profundidades inferiores a 10 metros até vários milhares de metros (DEPTH, 2012).

3.3.2 Sistema de Boias Inteligentes

Boias inteligentes é um sistema de posicionamento acústico portátil composto por uma rede de boias (Figura 11) equipadas com localizador do tipo *GPS* (ou *DGPS*) e relógios sincronizados com o relógio do UUV. Este emite um sinal acústico em instantes pré determinados, que são captados pelas boias, que sabendo o instante de emissão do sinal calculam o tempo do percurso. Tendo desta forma calculada a distância entre as boias e o veículo, estes dados são transmitidos para a base que integra os dados e determina a posição do veículo.

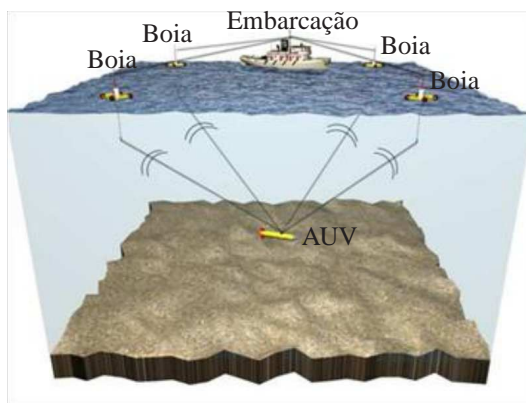


Figura 11: Sistema de Boias Inteligentes (ZANONI, 2012)

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste capítulo foi abordada a problemática da navegação e localização de sistemas de investigação subaquática, sejam *towfish*, *ROVs* ou *AUVs*. Os sistemas de boias tem soluções diferenciadas visto que estão na superfície.

Foram levantadas algumas possibilidades de solução para ambos os casos, o que permitirá que na etapa de projeção do veículo se escolha a solução mais adequada.

Outro fator importante na definição da solução do problema que será abordado no próximo capítulo é a dinâmica de ondas, assim como a interação entre o solo, as ondas e um *AUV*.

4 DINÂMICA DE ONDAS

4.1 CINEMÁTICA DA ONDA

Neste capítulo abordar-se-a de maneira breve um estudo sobre as velocidades e a dinâmica das ondas.

A propagação de uma onda pode ser representada pelas variáveis X (espacial) e t (temporal) ou por uma combinação de ambas definida pela Equação 4.1 (COASTAL ENGINEERING MANUAL, 2002).

$$\theta = kX - \omega t \quad (4.1)$$

A Figura 12 mostra uma onda e nela são representados os parametros que definem uma onda.

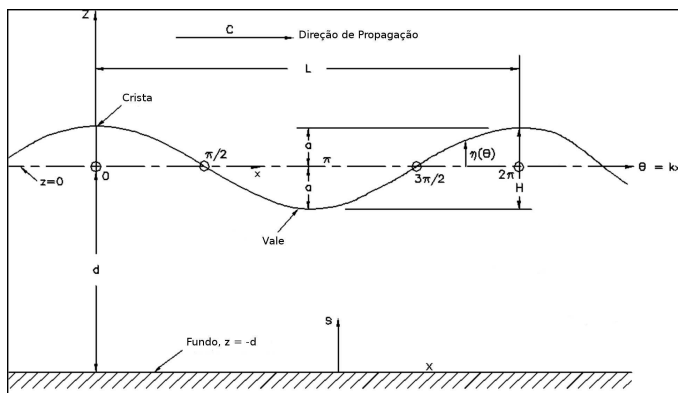


Figura 12: Representação dos parametros de uma onda, adaptado de Coastal Engineering Manual (2002)

Onde T é o período, L é o comprimento de onda, d é a profundidade, a é a amplitude, $\omega = \frac{2\pi}{T}$ e $k = \frac{2\pi}{L}$.

A amplitude é $a = \frac{H}{2}$, a velocidade (*wave celerity*) é $C = \frac{L}{T} = \frac{\omega}{k}$, a declividade da onda ou esbeltez (*wave steepness*) é $\varepsilon = \frac{H}{L}$, a profundidade relativa é $\frac{d}{L}$ e a altura relativa da onda é $\frac{H}{d}$.

Assumindo que (COASTAL ENGINEERING MANUAL, 2002):

- O fluido é homogêneo e incompressível;
- As tensões superficiais podem ser negligenciadas;

- O efeito de Coriolis devido a rotação da Terra pode ser negligenciado;
- A pressão na superfície livre é constante e uniforme;
- O fluido é ideal (invíscido);
- A onda não interage com outros movimentos da água e o fluxo é irrotacional (forças de cisalhamento são desprezíveis);
- O fundo é uma fronteira impermeável, horizontal e fixa, ou seja a velocidade no fundo é zero;
- A amplitude da onda é pequena e a forma de onda é invariante no tempo e no espaço;
- As ondas são bidimensionais.

Torna-se possível utilizar a teoria de onda linear. Vale ressaltar ainda que as três primeiras considerações são válidas para praticamente todos os problemas de engenharia costeira (COASTAL ENGINEERING MANUAL, 2002).

Para águas rasas (neste caso, $\frac{d}{L} \leq \frac{1}{20}$) obtemos, a partir das considerações anteriores:

- Velocidade da partícula de água (COASTAL ENGINEERING MANUAL, 2002):

$$- \text{Horizontal: } u = \frac{H}{2} \sqrt{\frac{g}{d}} \cos \theta;$$

$$- \text{Vertical: } w = \frac{H\pi}{T} \left(1 + \frac{z}{d}\right) \sin \theta;$$

- Pressão: $p = \rho g(\eta - z)$;

Onde ρ é a densidade da água, $\eta = a \cos \theta$ e z é o valor do eixo vertical com origem na superfície apontando para cima, como mostra a Figura 12.

Um fator importante quando se pretende estudar o comportamento das ondas é que o comportamento (movimento) das partículas de água em regiões de águas profundas e águas rasas é diferente. Na região de águas profundas as partículas desenvolvem uma trajetória circular que diminui seu raio exponencialmente. Por outro lado em águas rasas a trajetória das partículas se assemelha a uma elipse. Esse comportamento pode ser visualizado de maneira mais clara na Figura 13.

o modelo completo da cinemática e da dinâmica de ondas é apresentado no Coastal Engineering Manual (2002).

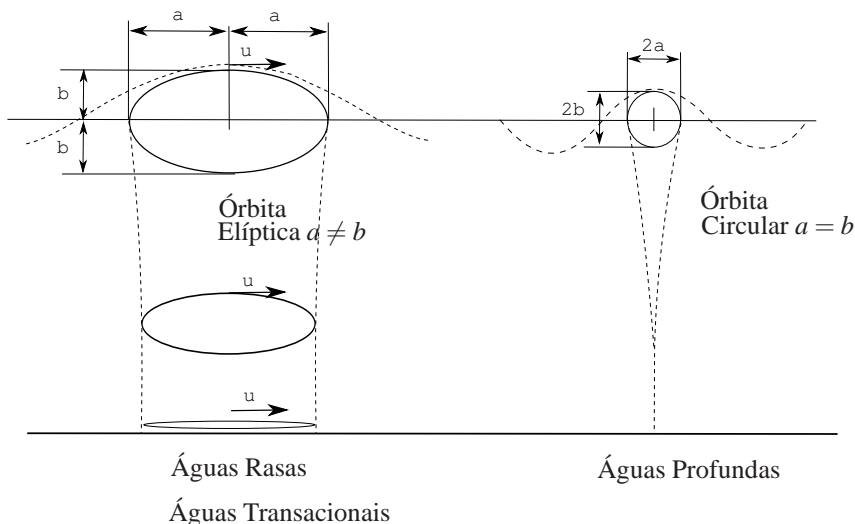


Figura 13: Trajetória das partículas de água sob o efeito da onda, adaptada de Coastal Engineering Manual (2002)

4.2 DINÂMICA DA ONDA EM ÁGUAS RASAS

A maior parte dos modelos de dinâmica e hidrodinâmica de AUVs é para condições de águas profundas, sem levar em conta os efeitos das ondas da superfície e do fundo do mar (ANANTHAKRISHNAN; ZHANG, 1998).

Nesta seção será apresentado um modelo para avaliar os efeitos das ondas de superfície e do fundo do mar na dinâmica de um UUV de formato torpedal. O modelo estudado se divide em duas partes. A primeira, dedica-se a estudar a interação entre o UUV e o fundo, e a segunda trata os efeitos da onda sobre o UUV. O veículo utilizado para a construção deste modelo foi o AUV - OEX, desenvolvido na Florida Atlantic University (DHANAK et al., 1999).

Na Figura 14 é apresentado um AUV em águas rasas e são inseridos os seguintes parâmetros utilizados na modelagem.

- **F** - Superfície da água;
- **B** - Fundo;
- **H** - Veículo;
- **H** - Altura da onda ($2a$, onde a é a amplitude);

- L - Comprimento de onda;
- d_f - profundidade do veículo;
- d_b - distância veículo fundo;
- $d_f + d_b$ - profundidade da água.

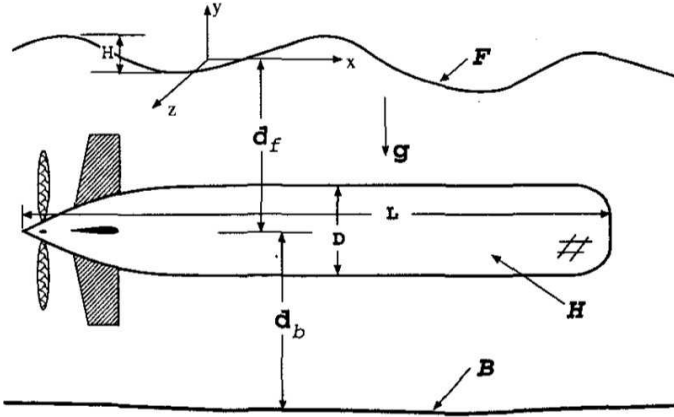


Figura 14: Representação de um AUV em águas rasas (ANANTHAKRISHNAN; ZHANG, 1998).

A equação da velocidade e pressão para fluidos incompressíveis e viscosos é a de Navier-Stokes (ANANTHAKRISHNAN; ZHANG, 1998).

$$\nabla \cdot \vec{u} = 0, \quad (4.2)$$

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla \vec{u} = -\frac{1}{\rho} \nabla P + \nu \nabla^2 \vec{u}, \quad (4.3)$$

onde,

- $P = p + \rho g y$ - pressão dinâmica;
- ρ - densidade da água;
- ν - coeficiente de viscosidade da água.

A determinação da velocidade da água na fronteira com o veículo e com o fundo é calculada a partir da condição de não escorregamento.

$$\vec{u} = \vec{U}, \quad \text{em } \mathbf{H} \quad (4.4)$$

$$\vec{u} = 0, \quad \text{em } \mathbf{B} \quad (4.5)$$

4.3 FLUÍDO INVÍSCIDO

Na Figura 15 é apresentado o campo de velocidades em torno do AUV considerando a interação com o fundo e uma velocidade do veículo constante. O eixo X representa o eixo de deslocamento do veículo no fundo, o eixo Y representa o eixo vertical de deslocamento em profundidade.

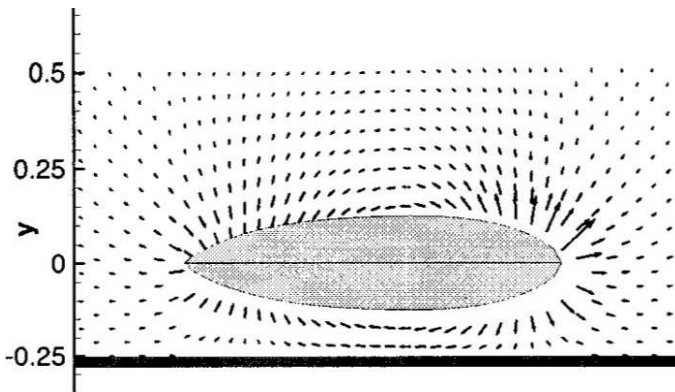


Figura 15: Representação de um AUV em águas rasas, adaptado de Ananthakrishnan e Zhang (1998).

A Figura 15 representa que a velocidade na parte inferior do veículo é maior do que na superior, o que significa uma pressão maior na parte superior, ou seja, uma força puxando o veículo para o fundo.

Segundo os cálculos realizados por Ananthakrishnan e Zhang (1998) um veículo de 2m de comprimento a uma velocidade de 1m/s com o seu eixo a 0,3 m acima do fundo do mar experimenta uma força de sucção de aproximadamente 4N, uma força de 16N se estiver se movendo a 2m/s.

Para manter o veículo no fundo do mar é preciso neutralizar a força de sucção usando barbatanas de controle ou propulsores verticais.

A força de sucção é, contudo, insignificante quando o corpo não está perto do fundo do mar. O veículo acima de uma distância de 2m do fundo do mar a 2 m/s, é confrontado com uma força de sucção de 10^{-2} N.

4.4 FLUÍDO VISCOZO

Nesta seção serão apresentados os resultados considerando as forças da onda, considerando um AUV estacionário, incluindo o efeito da viscosidade.

Faz-se uma análise adimensional, com respeito a densidade da água, aceleração da gravidade, comprimento do veículo e considerando um comprimento de onda de $L = 2$, altura da onda $H = 0,18$, profundidade da água $d = 2$ e o AUV submerso $d_f = 0,5$ e um tempo $t = 75$.¹

O fluxo neste caso é apresentado na Figura 16 e o gráfico da relação de forças adimensionais por tempo é apresentado na Figura 17.

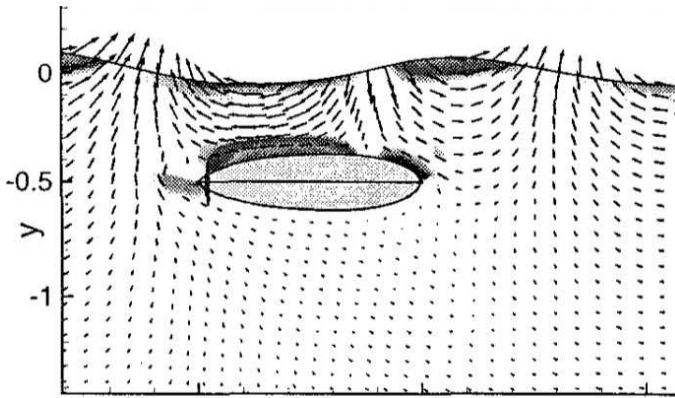


Figura 16: Campo de velocidades em águas rasas $d_f = 0,5$, adaptado de Ananthakrishnan e Zhang (1998).

A amplitude da força vertical (*heave*) adimensional $\frac{F_y}{\rho g L^2}$ é de aproximadamente $\approx 0,025$ enquanto a amplitude da força horizontal (*surge*) adimensional $\frac{F_x}{\rho g L^2}$ é de aproximadamente $\approx 0,005$.

Considerando um veículo de 2 m de comprimento, se chega a uma amplitude de ≈ 1000 N para a força vertical e uma amplitude de ≈ 200 N para a força horizontal, por unidade do veículo, para um comprimento de onda de $L = 4$ m e uma altura de onda $H = 0,36$ m para um veículo a 1 m de profundidade.

Agora considerando o caso de o veículo estar submerso $d_f = 0,25$, em uma região com comprimento de onda $L = 2$, altura da onda $H = 0,18$ e profundidade $h = 2$, como no primeiro caso.

¹Ananthakrishnan e Zhang (1998) não especifica as unidades utilizadas no trabalho.

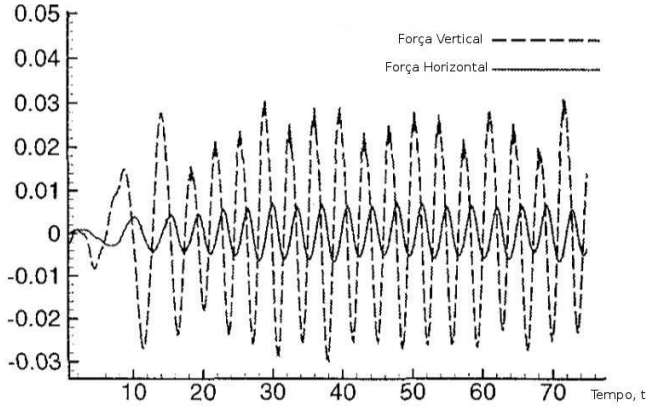


Figura 17: Gráfico de forças no AUV em águas rasas $d_f = 0,5$, adaptado de Ananthakrishnan e Zhang (1998).

A Figura 18 mostra a maior turbulência e velocidades maiores quando o veículo está mais perto da superfície livre. Na Figura 19 se pode notar que a relação de forças verticais e horizontais adimensionais também são maiores quando o veículo está próximo a superfície livre.

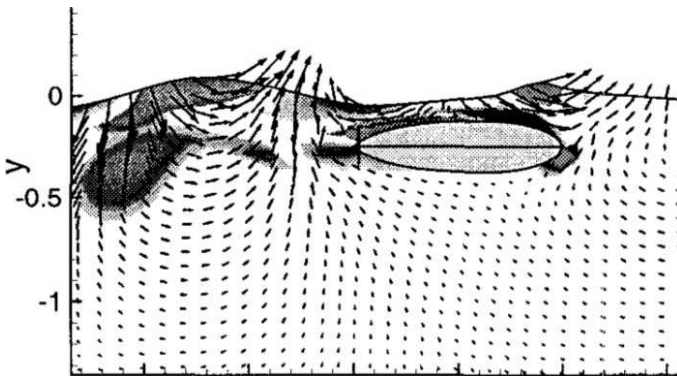


Figura 18: Campo de velocidades em águas rasas $d_f = 0,25$, adaptado de Ananthakrishnan e Zhang (1998).

Mais informações sobre este modelo podem ser obtidas no trabalho de Ananthakrishnan e Zhang (1998).

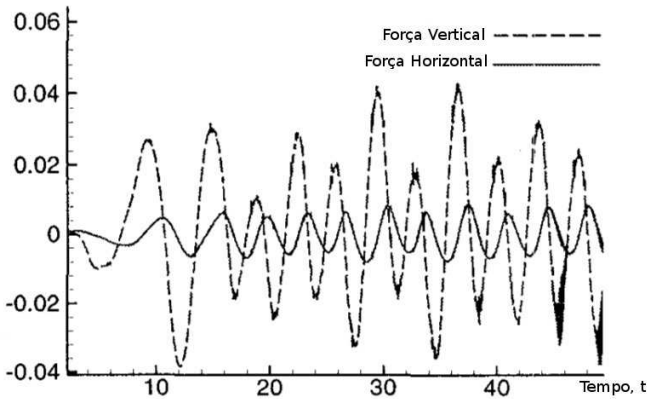


Figura 19: Gráfico de forças no AUV em águas rasas $d_f = 0,25$, adaptado de Ananthkrishnan e Zhang (1998).

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou uma forma de analisar a cinemática das partículas de água na onda e a dinâmica da onda e o solo interagindo com um AUV. As análises mostraram as considerações que podem ser feitas para simplificar a análise sem comprometer os resultados.

É bastante importante a realização destas análises para se estimar as forças atuantes no AUV sob o efeito de uma onda, baseado na altura, comprimento de onda, profundidade da coluna d'água, profundidade do AUV. Isto permite selecionar uma região de operação para o veículo.

O próximo capítulo abordará o processo de projeto de produtos, apresentando algumas definições importantes como produtos, metodologia de projeto, PRODIP, tendo principal enfoque as fases de projeto informacional e conceitual.

5 METODOLOGIA DE PROJETO

Metodologia de projeto compõem-se de um conjunto de atividades, técnicas e métodos que auxiliam no processo de projeto. Dentre as várias metodologias de projeto disponíveis, a metodologia a ser utilizada neste projeto será a do Projeto Integrado de Desenvolvimento de Produtos [PRODIP], desenvolvida no Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos [NEDIP] da Universidade Federal de Santa Catarina [UFSC]. (BONFIM, 1984; LOPENSINO, 2002; OGLIARI, 2007; BACK et al., 2008).

A seguir são apresentados os conceitos e definições de projeto, um histórico do desenvolvimento das metodologias de projeto e mais detalhadamente a metodologia PRODIP, que será utilizada neste trabalho.

5.1 CONCEITOS E DEFINIÇÕES

Visando um melhor entendimento do desenvolvimento de um produto, algumas definições e conceitos fundamentais são apresentados a seguir.

Produto pode ser considerado o resultado de uma atividade humana, seja esta atividade física ou mental (FERREIRA, 1988). Do ponto de vista da engenharia produto é um objeto, um serviço, ideias ou até uma combinação destas, com características, funções, utilizado por pessoas, organizações e que atenda os desejos, necessidades dos seus usuários [Ref. Kotler et. al. 1999, encontrar ref.].

O projeto pode ser entendido como um plano, uma ideia de como executar uma atividade, ou ainda um plano de um empreendimento a ser realizado, com objetivo de gerar um produto (FERREIRA, 1988; BACK et al., 2008).

Metodologia de projeto é um conjunto de métodos, etapas estruturadas, procedimentos, técnicas, “ferramentas”, aplicados ao processo de projeto de maneira a auxiliar a solução de problemas teóricos e práticos, buscando minimizar os erros e esquecimentos de questões importantes ao longo do processo (BONFIM, 1984; LOPENSINO, 2002; BACK et al., 2008). Uma metodologia de projeto deve mostrar ao projetistas o que fazer, para quem fazer, quando fazer, como fazer e com que fazer durante o processo de projeto (BACK et al., 2008).

5.2 PRODIP

O PRODIP é uma metodologia de projeto multidisciplinar e mostra-se como uma metodologia moderna e completa. Esta metodologia é apresentada em detalhes a seguir.

A metodologia PRODIP é chamada também de modelo de referência, visando auxiliar na formação de estudantes, na atualização de profissionais e ainda na implementação de melhorias no processo de desenvolvimento de produtos em empresas (BACK et al., 2008).

Back et al. (2008) ressalta que apesar de haver críticas à existência de metodologias de projeto, por engessarem os projetistas, na verdade o modelo PRODIP busca contribuir na execução de um processo de desenvolvimento de produtos mais formal e sistematizado, integrado aos interesses das empresas, fornecedores e clientes.

Além de buscar sistematizar, esta metodologia fornece meios para que as inovações ocorram sem diminuir a criatividade.

O modelo é desdobrado em macrofases, fases, atividades e tarefas de maneira a facilitar seu entendimento e desenvolvimento, descrito na Figura 20.

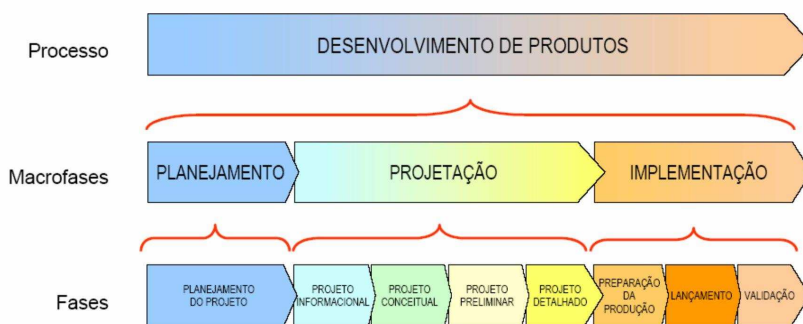


Figura 20: Representação gráfica do modelo PRODIP, (ROMANO, 2003)

Neste trabalho será abordada a macrofase de projeção em suas fases de projeto informacional e projeto conceitual.

5.2.1 Projetação

Na macrofase de projeção o projeto do produto e o plano de manufatura são elaborados, tendo como saídas desejadas um produto pronto, atendendo os planos de projeto, e a forma como o mesmo será produzido na escala proposta.

Segundo Romano (2003) esta macrofase se divide em quatro fases, como mostra a Figura 21.

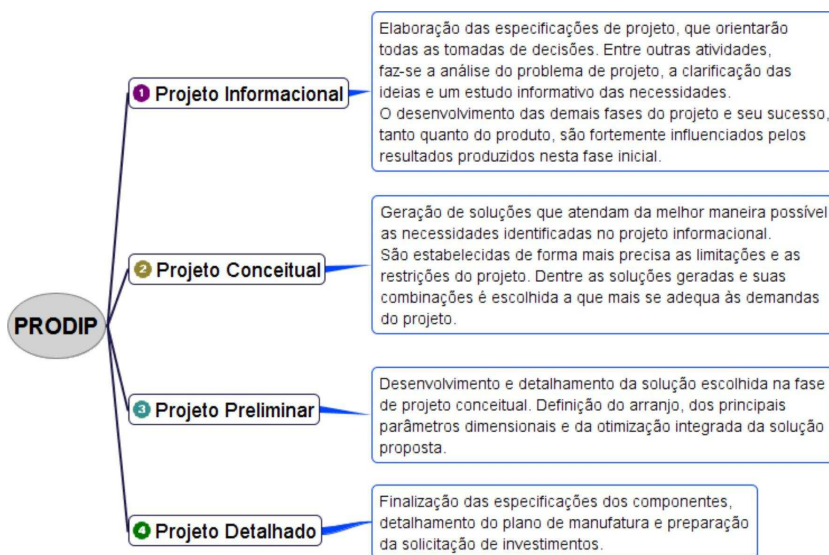


Figura 21: Fases da macrofase de projeção

5.2.1.1 Projeto Informacional

A primeira fase da macrofase de projeção tem como objetivo a elaboração das especificações de projeto, ou seja, os requisitos de projeto classificados, com seus valores-meta a serem atingidos com a solução proposta (BACK et al., 2008).

Visando atingir os objetivos desta fase, ela pode ser dividida em atividades, conforme listado abaixo:

- Definição do Problema;

- Ciclo de Vida do Produto;
- Identificação dos Usuários;
- Necessidades dos Usuários;
- Requisitos dos Usuários;
- Requisitos de Projeto;
- Especificações de Projeto.

A descrição dessas atividades pode ser encontrada em (FLORIANI, 2011), (ROMANO, 2003), (BACK et al., 2008).

5.2.1.2 Projeto Conceitual

Determinados os requisitos de projeto, em outras palavras, uma descrição das características que o produto deve apresentar, os anseios e metas que o sistema deve satisfazer, a fase seguinte, denominada de projeto conceitual, consiste na geração de soluções, concepções de projeto que atendam as especificações (BACK et al., 2008; FLORIANI, 2011; PAHL; BEITZ, 1996).

Visando alcançar uma solução adequada ao problema de projeto na fase de projeto conceitual, o problema complexo é desdobrado em problemas menores e mais simples que serão pesquisados individualmente. De posse das soluções dos problemas menores essas soluções são combinadas de maneira que no final todas as especificações tenham sido atendidas pelos princípios de solução levantados (PAHL; BEITZ, 1996).

Esta é uma fase essencialmente criativa. Sendo importante levantar o maior número de ideias, possíveis soluções, para então poder se escolher a solução mais adequada (BACK et al., 2008).

Esta fase pode ser dividida em atividades listadas abaixo:

- Verificação do Escopo do Problema;
- Estabelecimento da Estrutura Funcional;
- Pesquisa por Princípios de Solução;
- Combinação de Princípios de Solução;
- Avaliação das Concepções e Seleção da Solução;
- Esboço da solução.

A atividade de verificação do escopo do problema pode ser entendida como a análise das especificações e identificação das restrições. Deve ser feito um estudo compreensivo do problema de forma abstrata. É importante ainda fazer uma busca de relações entre fatos associados ao problema. Esta associação de conceitos pode ser feita através de uma rede semântica, ou mapa conceitual (DIAS, 2010).

A atividade de estabelecimento da estrutura funcional tem seu início na definição da função global do produto, a qual deve considerar o estado inicial de energia, material e sinal, assim como o estado final que se deseja atingir para estas grandezas. É importante ainda considerar as interações do sistema com o usuário, com o meio ambiente e com outros sistemas (BACK et al., 2008). O levantamento da estrutura funcional ocorre a partir da decomposição da função global em funções parciais, onde estas podem ainda ser decompostas em funções elementares, que quando combinadas devem representar a função global sem perda de informações (PAHL; BEITZ, 1996).

É conveniente que estas funções sejam expressas com verbos, que representam ação (DIAS, 2010).

A pesquisa por princípios de solução consiste em encontrar, identificar formas de realizar as funções da estrutura funcional. Identificar os efeitos físicos envolvidos e os portadores destes efeitos físicos, responsáveis pelas transformações ou funções (DIAS, 2010).

Existem diversos métodos de busca de soluções, os quais destacam-se (DIAS, 2010):

- Métodos Convencionais:
 - Pesquisa Bibliográfica;
 - Análise de Sistemas Técnicos Existentes;
- Métodos Intuitivos:
 - *Brainstorming*;
 - Analogia Direta;
 - Analogia Simbólica;
- Métodos Sistemáticos
 - Matriz Morfológica;
 - Análise de Valor;
 - Função Síntese.

Esta atividade consiste em combinar os princípios de solução levantados na atividade anterior, de tal maneira que ao final o sistema atenda a função global.

É possível observar, que não é viável fazer todas as combinações possíveis, pois desta forma gerariam-se milhares de combinações a serem avaliadas, o que pode, em muitos casos, inviabilizar a atividade de avaliação das concepções que geralmente é feita de forma *manual* e não com o auxílio de software específico (FLORIANI, 2011).

Isto pode ser visto se for pensado em um problema que se desdobre em dez (10) funções elementares. Se para cada função houverem 3 princípios de solução, teremos 59049 possíveis combinações.

Desta forma pode ser conveniente fazer uma análise prévia dos princípios de solução levantados a fim de identificar as que mais se adequam as especificações e quais podem ser descartas.

Esta atividade depende essencialmente da experiência do projetista ou da equipe de projeto.

O processo de seleção de soluções ocorre durante todo o projeto, mas de forma mais profunda no projeto conceitual, e é importante que ele seja feito de maneira clara, visto que a escolha de solução terá efeito sobre todo o ciclo de vida do produto, desde a manufatura até o descarte. Decisões errôneas tomadas nesta etapa podem ser irreversíveis ou terem um alto custo de modificação (BACK et al., 2008).

Nesta fase é importante ter uma metodologia de auxílio à tomada de decisões e seleção da concepção, já que as informações sobre as concepções estão em um estágio inicial e ainda incompletas.

É recomendável que o processo de seleção seja sistematizado em duas etapas, onde na primeira etapa ocorre uma triagem das soluções de forma mais intuitiva, com métodos como o passa ou não passa, melhor ou pior, prós e contras, atende ou não atende as especificações. Na segunda etapa é indicado se estabelecerem critérios, geralmente quantitativos, com pesos de importância, dentre outros a fim de ordenar as concepções. Métodos de avaliação e ordenação podem ser encontrados em Dias (2010), Back et al. (2008), entre outras.

5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou algumas definições importantes no processo de projeto de produtos, a metodologia de projeto PRODIP, onde foram abordadas as fases de projeto informacional e conceitual da macrofase de projeção, a fim de permitir um melhor entendimento do processo de projeto e de

algumas ferramentas que podem auxiliar está atividade.

Os conceitos e estudos deste capítulo serviram para reforçar a importância de uma metodologia no desenvolvimento de um projeto e permitiram a escolha da metodologia mais adequada a necessidade de projeto.

O novo sistema a ser projetado, nas etapas do projeto informacional e conceitual será apresentado no próximo capítulo, onde inicialmente será apresentada a problemática de projeto, depois a estrutura do sistema e as funções que o mesmo deve desempenhar para finalmente apresentar um esboço da solução.

6 PROPOSTA DO SISTEMA DE INVESTIGAÇÃO SUBAQUÁTICA - PROJETO

Neste capítulo será apresentada a proposta de um sistema de investigação subaquática descrevendo as fases de projeto informacional e conceitual.

6.1 PROJETO INFORMACIONAL

O projeto informacional, conforme já foi tratado, aborda desde a definição clara do problema até as especificações de projeto. No presente projeto serão tratadas as atividades de definição do problema, levantamento dos requisitos dos usuários, requisitos de projeto e especificações de projeto. Algumas atividades serão suprimidas, visto que os prováveis usuários do produto são pessoas da área técnica que já apresentam seus requisitos de forma clara, não precisando ser feita a etapa de necessidades dos usuários, bem como ciclo de vida.

6.1.1 Definição do Problema

Este projeto tem como problemática a ser solucionada o projeto conceitual de um sistema de investigação subaquática (batimetria) para águas rasas com ondas, mas fora da região de arrebentação (zona de surfe).

O projeto deve prever que durante os períodos de teste do protótipo, quando o mesmo vier a ser construído, possa ser testado na zona de surfe para verificar sua viabilidade nesta região.

6.1.2 Requisitos dos Usuários

O sistema a ser desenvolvido deve atender à:

- NORMAM-25/DNH da Diretoria de Hidrografia e Navegação (2011);
- Menor custo de operação do que os meios existentes;
- Consumir menos tempo que os sistemas existentes para o mapeamento da mesma área;
- Não necessitar de um operador especializado em constante contato com o sistema;

- Não deve depender de um sistema auxiliar de colocação e retirada da água, podendo ser transportado e colocado em operação por apenas um operados;
- Sistema de navegação independente de meios externos;
- O sistema deve navegar na terça parte inferior da coluna d' água;
- O sistema deve ser um *AUV*.

Idealmente o sistema deve estar apto a ser classificado na categoria “A” da NORMAM-25/DNH da Diretoria de Hidrografia e Navegação (2011) mas é aceitável que em um primeiro momento o sistema esteja classificado na categoria “B”, a NORMAM-25/DNH da Diretoria de Hidrografia e Navegação (2011).

O penúltimo requisito é justificado pelo apresentado no Capítulo 4, onde se percebe que na parte superior e de certa maneira na parte intermediária as forças envolvidas sobre o *AUV*, tanto verticais quanto horizontais, são significativas a ponto de gerar uma oscilação na trajetória do veículo, dificultando o levantamento batimétrico, além de poder produzir dados de difícil interpretação e processamento.

O requisito de usuário de o veículo/sistema ser um *AUV* é entendido considerando-se o que foi apresentado na seção 1.2.2.2, além disso em comparação com os *ROVs*, as vantagens para este tipo de operação estão associadas às características de cada sistema. Os *ROVs* demandam um operador constantemente interagindo com o veículo. Além disso, o veículo é fixo a uma base por um cordão umbilical que restringe o movimento do veículo, além de criar efeitos dinâmicos indesejados e demandar maior potência dos propulsores para vencer a resistência extra criada pelo cordão umbilical, ondas e correnteza nas regiões de águas rasas.

Os sistemas fixos no fundo do mar apresentam grandes problemas, a dificuldade de instalação da base no fundo do mar, que além de apresentar grandes riscos aos mergulhadores, tem altos custos, outro ponto importante é que estes sistemas tem que ser instalados e retirados, através desta complexa operação, a cada investigação de um determinado ambiente.

Os sistemas fixos de boias tem como vantagens a fácil “instalação” podendo ser lançadas no ambiente por botes infláveis ou outras embarcações, mas como empecilho a impossibilidade de se aproximar das áreas investigadas, podendo ter a coleta de seus dados alterados, dificultados, pela presença de bancos de areia.

6.1.3 Requisitos de Projeto

Os requisitos de projeto podem ser entendidos como os requisitos dos usuários escritos como características de engenharia Hauser e Clausing (1988)

Os requisitos apresentados pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (2011) não precisam ser transformados, pois já são descritos como características de engenharia.

Um ponto destacado por Hauser e Clausing (1988) é que um requisito dos usuários pode dar origem a vários requisitos de projeto.

- Custo de operação (R\$);
- Autonomia (s);
- Tempo de manutenção (s);
- Tempo de preparação para operação (s);
- Equipe de operação (número de pessoas, veículos de apoio);
- Tempo de interação com o operador durante a operação (s);
- Velocidade de operação (nós);
- Peso (N);
- Dimensões (mm);
- Profundidade máxima (m);
- Mean time between failures (h);
- Profundidade de operação (m).

6.1.4 Especificações de Projeto

As especificação de projeto devem ser descritas de forma detalhada e compreensível aos diferentes usuários, devendo ser acompanhadas das possíveis formas de medição, as especificações são apresentadas na Tabela 10.

Requisito	Valor
Custo de operação	-
Autonomia	12 h
Tempo de manutenção	-
Tempo de preparação para operação	-
Equipe de operação	1
Tempo de interação com o operador durante a operação	0 s
Velocidade de operação	3 nós
Peso	230 N
Dimensões	1500 x 200 x 200 mm
Profundidade máxima	50 m
Mean time between failures	120 h
Profundidade de operação (m)	$(\geq \frac{2}{3}h)$

Tabela 10: Especificações de Projeto

6.2 PROJETO CONCEITUAL

A etapa de projeto conceitual é responsável por gerar soluções, concepções, que atendam as especificações levantadas no projeto informacional.

Nesta etapa inicialmente se definirá a estrutura de funções do produto a ser projetado, posteriormente se fará a busca por princípios de solução, suas combinações e um esboço da solução.

Visando facilitar a elaboração da estrutura funcional do AUV se fez um estudo sobre *UUVs*, além do levantamento de sistemas de investigação subaquática apresentado na seção 2.8. Nesse estudo pesquisou-se Moraes (2005), Centeno (2007), Massachusetts Institute of Technology (2003), The Australian National University (2006), Cornell University (2000), Rocha (2012), Floriani (2011), Corrêa (2007), Martins (2012), Pinto (2008).

6.2.1 Estabelecimento da Estrutura Funcional

A função global a ser desempenhada pelo produto a ser projetado (*AUV*) é “investigar o relevo subaquático em águas rasas“. Partindo-se desta função o problema foi dividido em funções mais simples, sendo a estrutura funcional apresentada na Figura 22.

Após se analisar a estrutura funcional se percebeu que diferentes princípios de solução (componentes, sistemas) poderia atender mais de uma função elementar da estrutura. Dessa forma se elaborou uma nova estrutura fun-

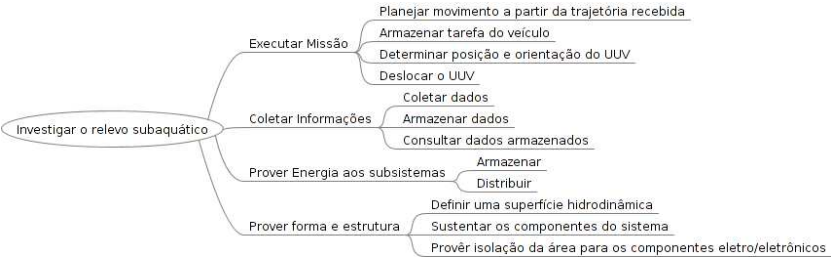


Figura 22: Estrutura funcional do AUV

cional associando as funções a subsistemas encontrados em outros UUV, essa estrutura é apresentada na Figura 23

6.2.2 Pesquisa por Princípio de Solução

A fim de organizar a busca por princípios de solução (soluções responsáveis por atender a estrutura funcional) será utilizado o método da matriz morfológica (DIAS, 2010; BACK et al., 2008). Nesse caso na primeira coluna serão utilizados os sistemas apresentados na Figura 23 e não as funções elementares mostradas na Figuram22.

A matriz morfológica global para o sistema é mostrada na Tabela 11. Nas seções 6.2.2.1 a 6.2.2.7 serão discutidas de maneira mais clara cada linha da matriz morfológica objetivando encontrar a solução mais adequada.

Matriz Morfológica					
Propulsão	Hélice	Barbatana	Jato		
Acionamento	Elétrico	Combustão			
Fornecimento de Energia	Bateria	Célula Combustivel			
Localização	LBL	SBL	USBL	Bóias Int.	
Navegação	INS	INS + DVL	LBL	SBL	USBL
Sistema Embarcado	Raspberry	Netbook	Tablet	Smart Phone	
Sensores	CTP	Ecobatimetro	Outro		
Forma	Arraia	Torpedo			

Tabela 11: Matriz Morfológica

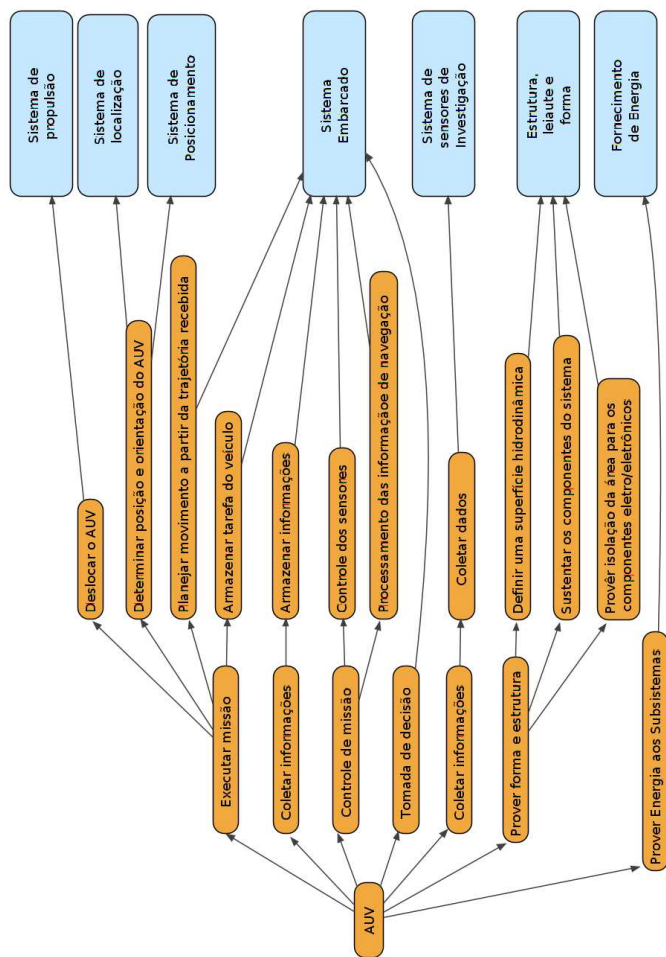


Figura 23: Proposta de nova estrutura funcional do AUV

6.2.2.1 Sistema de Propulsão

Buscando avaliar as possibilidades de solução para o sistema de propulsão (propulsão e acionamento) foram recortadas da matriz morfológica as linhas correspondentes ao sistema de propulsão e acionamento, apresentadas na Tabela 12.

Sistema de Propulsão			
Propulsão	Hélice	Barbatana	Jato
Acionamento	Motor Elétrico	Motor à Combustão	

Tabela 12: Possíveis Soluções - Sistema de Propulsão

Para o acionamento, a escolha mais natural e adotada nos demais veículos pesquisados é por um motor elétrico, visto que um motor a combustão interna precisaria de um "respiro" fora da água para a realização da combustão e outro para liberar os gases do escape, além de poluir o ambiente.

Para a propulsão a escolha foi pela hélice, novamente como a maior parte dos AUVs encontrados, além disto o sistema de hélices pode ser acionado nos dois sentidos.

6.2.2.2 Fornecimento de Energia

O fornecimento de energia para AUVs tem sido um problema a ser solucionado, pois no caso de ROVs a energia pode ser transmitida através do *cordão umbilical*, entretanto nos AUVs isto não é possível. Desta forma tem se utilizado baterias, células combustíveis e no caso de *gliders* tem se utilizado o princípio da máquina térmica para fornecer energia.

Nesse caso se optara pelo uso de baterias, devido não só a sua larga utilização em AUVs mas também a sua disponibilidade, facilidade para recarregar, além do fato de se ter baterias que permitem que veículos tenham uma autonomia de 14 h ou até 8 meses para *gliders*.

6.2.2.3 Sistema de Localização

As possíveis soluções do sistema de localização, extraídas da matriz morfológica são apresentadas na Tabela 13, as quais já foram apresentadas e discutidas na Seção 3.3.

Sistema de Localização			
LBL	SBL	USBL	Boias Inteligentes

Tabela 13: Possíveis soluções - Sistema de Localização

Neste caso, como os objetivos do projeto são a operação em águas rasas, a menor necessidade de interação com um operador durante a operação

e a diminuição dos custos, a escolha mais indicada é o sistema de boias inteligentes. Visto que as boias podem ser lançadas de uma pequena embarcação (a mesma que deve lançar o *AUV*) no início da operação e recolhidas ao final, para o caso de operação durar mais de um dia caso as boias contêm com uma pequena ancora e dependendo das ondas e correntezas envolvidas a boia pode permanecer no local até o fim da investigação. Além disso, o lançamento de boias não necessita de nenhum equipamento especial, facilitando a operação.

Uma outra vantagem associada às boias é que podem ser lançadas em uma região mais profunda, sofrendo menos o efeito do fundo e das ondas.

Pesam contra o sistema LBL o alto custo envolvido, as dificuldades para a fixação dos transdutores no fundo do mar e os riscos envolvidos.

Contra os sistemas SBL e USBL pesam a necessidade de uma embarcação na zona de águas rasas, sofrendo fortemente o efeito das ondas e a necessidade de um operador na embarcação a menos que seja uma embarcação autônoma, o que exigiria maiores custos para as operações. No caso do SBL provavelmente será necessário mais de uma embarcação, visto que os transdutores, caso sejam fixos na embarcação e não no substrato (no substrato teriam os mesmos problemas do LBL) devem estar fixos à uma distância de $10 \approx 50m$, a menos que seja uma embarcação de grande porte, o que não seria viável em águas rasas.

Neste caso será optado pelo sistema onde o veículo emite um pulso, que é percebido pelas boias. Com a sincronização dos relógios das boias e do *AUV*, essas sabem quando o mesmo foi emitido e podem calcular a posição do veículo. Isso porque pretende-se que o processamento das informações (leitura dos sensores, posição e orientação do veículo) seja feito externamente, a fim de poupar energia do *AUV*, já que um dos problemas críticos do *AUV* é a energia. Como o processamento da posição e orientação do veículo será feito externamente o *AUV* necessitará de um sistema de navegação interno, que será apresentado na próxima seção.

6.2.2.4 Sistema de Navegação

As possíveis soluções do sistema de navegação são apresentadas na Tabela 14.

Sistema de Navegação				
<i>INS</i>	<i>INS + DVL</i>	LBL	SBL	USBL

Tabela 14: Possíveis Soluções - Sistema de Navegação

A decisão tomada no sistema de localização de que o veículo funcionará apenas como um emissor de pulso para a localização, implica que ele deverá ter um sistema interno de navegação, baseado em outros dados que não apenas nas boias. Pelos motivos apresentados na seção 6.2.2.3, os sistemas LBL, USBL e LBL puderam ser descartados. A navegação baseada apenas no *DVL* não foi considerada pelo que já foi considerado na seção 3.2.2.

Quanto a escolha entre um sistema *INS* e *INS + DVL* um fator importante a ser considerado é o custo, pois conforme afirma Yan et al. (2010) apesar de o *DVL* reduzir os erros associados a *INS*, muitas vezes o conjunto *INS + DVL* tem um custo inviável para aplicações reais.

Apesar de os sistemas baseados em *INS* acumularem erro durante a sua operação, e saber a posição real do veículo ser muito importante nas aplicações de investigação subaquática, com o menor erro possível, não serão demasiadamente problemáticos visto que a posição utilizada para integração dos dados (medições em operação) utilizados serão provenientes do sistema de localização.

O *INS* terá a função de prover uma posição aproximada do veículo para que ele possa seguir aproximadamente a missão (trajetória) planejada.

6.2.2.5 Sistema Embarcado

A escolha do sistema embarcado deve ser feita apenas em uma etapa mais avançada do projeto, onde os sensores já tenham sido completamente definidos, para evitar a possibilidade de incompatibilidade entre o sistema embarcado e os sensores do veículo.

Entretanto algumas soluções foram levantadas, como a possibilidade de utilização de um *netbook*, *tablet*, *smart phone* nesses casos toda a programação pode ser feita nos próprios dispositivos, especialmente no *netbook* e *tablet* que possuem uma maior tela facilitando a programação e visualização dos resultados, bem como serem transmitidos por cabo ou por comunicação sem fio a um computador principal.

A opção de um *raspberry* é interessante por se tratar de um sistema de pequeno porte (físico), mas capaz do processamento dos dados e com um custo inferior aos demais sistemas levantados. Essa solução também permite a conexão por cabos ou rede sem fio entre o *raspberry* e o computador principal.

6.2.2.6 Sistema de Sensores de Investigação

Um sistema de investigação subaquático deve ser equipado com uma série de sensores, para medir diferentes variáveis.

Um sensor importante para validar as medições feitas através de ondas sonoras é o CTP, sensor de Condutividade, Temperatura e Pressão, pois para poder avaliar a velocidade de propagação de uma onda sonora no ambiente submerso é necessário conhecer essas variáveis (CORRÊA, 2007).

Por se tratar de um projeto de investigação subaquática (levantamento batimétrico) é essencial que o veículo seja equipado com um ecobatímetro. A escolha do modelo a ser empregado dependerá da investigação a ser executada em cada operação, isto porque a escolha do ecobatímetro dependerá de diversos fatores como trata Souza (2006).

Para o caso geral, o veículo deve ser equipado com um ecobatímetro multi-feixes.

A avaliação da profundidade de uma região submarina depende do conhecimento e da qualidade do dado da profundidade do veículo. Para tanto o veículo deve ser equipado com um sistema *ADCP*. O sensor *ADCP* é responsável por determinar as velocidades da água no entorno do veículo, podendo ainda medir as ondas e a profundidade. Este sistema conta com o apoio do CTP que já mede a profundidade para garantir um melhor resultado. (GAMARO, 2007; MORLOCK, 1996).

6.2.2.7 Estrutura, Leiaute e Forma

A fim de auxiliar na visualização e na escolha da forma, leiaute e estrutura do veículo foram feitas algumas modelagens, considerando-se as opções de projeto.

- Arraia

No início do processo de projeto se pensou em um veículo baseado no formato de uma arraia, como mostrado na Figura 24. Neste sentido foi modelado este *AUV* que operaria próximo a superfície livre da água, equipado com um mastro que deveria ficar fora da água, com um *DGPS* na ponta de maneira a se ter uma localização precisa do veículo durante a operação. Isto implicaria que o veículo não poderia estar a uma profundidade maior que o comprimento do mastro e o mesmo deveria ser equipado de maneira a perceber os balanços que o mastro sofreria para compensar esses deslocamentos.

Além disto se pensou que seria importante, tal qual em um barco a vela,

ter uma quilha a fim de aumentar a estabilidade do veículo (dificultar que o mesmo virasse sob ação de ondas, por exemplo), onde seria alocados os sensores de investigação (ecobatímetros, entre outros), e os mesmos deveriam estar fixos em uma junta com dois graus de liberdade, de forma a permitir que os sensores apontassem sempre para o fundo, necessitando novamente sensores para avaliar as inclinações do veículo de maneira a corrigir os dados da posição dos sensores.

Conforme se pesquisou a dinâmica das ondas e a interação com um AUV, com forma de torpedo, percebeu-se que seria mais indicado, como já foi visto, que o veículo esteja mais próximo ao fundo do que à superfície livre.

Dessa forma se abandonou esta ideia de veículo, pois a quilha colidiria com o fundo e o mastro não ficaria fora da água.

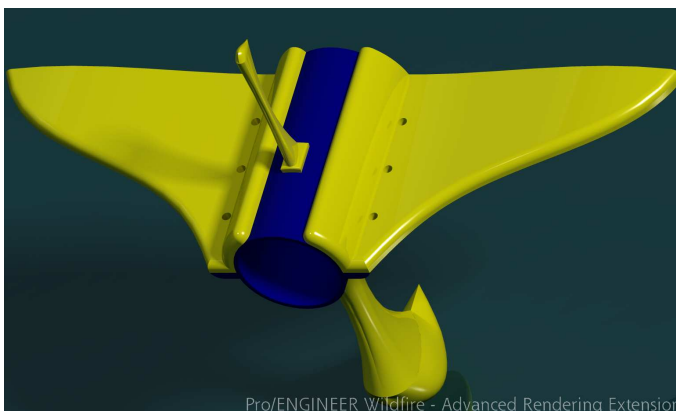


Figura 24: Modelo Arraia

- Torpedo

Analisando grande parte dos AUVs existentes, tanto para investigação de águas rasas e profundas, chega-se no modelo baseado em um torpedo. Em relação ao arraia esta forma tem como vantagem diminuir a pressão exercida pelas ondas no veículo, bem como o menor tamanho e a facilidade de transporte.

Desta forma se optou por este modelo.

6.2.3 Esboço da Solução

O veículo projetado pode ser visto na Figura 25 e uma vista explodida na Figura 26.

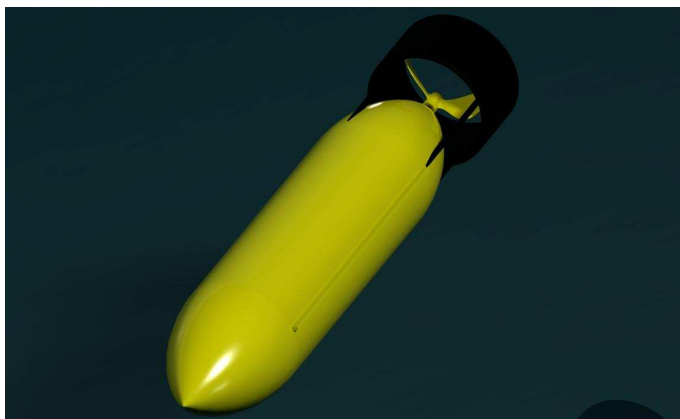


Figura 25: Modelo do AUV

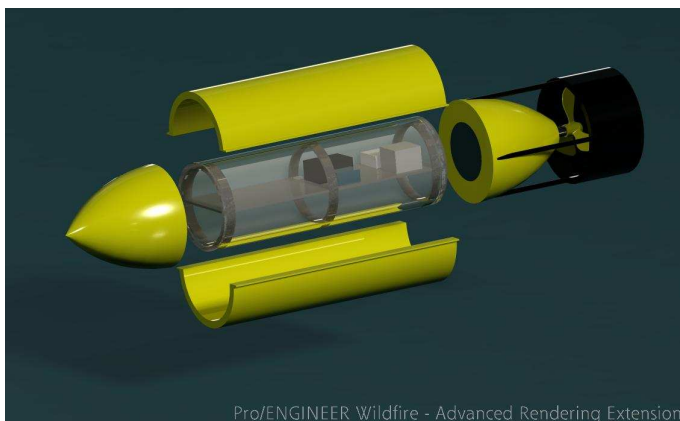


Figura 26: Modelo do AUV - Vista Explodida

O AUV deve operar na parte inferior da coluna d'água, de maneira a medir a profundidade entre o veículo e a superfície livre por meio de um sensor de pressão e do ADCP e investigar a parte abaixo do veículo com um ecobatímetro multifonte.

A localização do veículo será feita através de boias inteligentes equipadas com *DGPS* na região fora da água e com transdutores na região submersa, que captarão os pulsos emitidos pelo veículo a intervalos pré determinados e registrados. Esses dados servirão para saber a posição real do veículo no momento das medições do ecobatímetro.

Além disso, o veículo será equipado com um sistema *INS* e *DGPS*. O *INS* será responsável pela navegação estimada do veículo. De maneira a corrigir os erros associados a navegação baseada na *INS* em períodos definidos o veículo deverá emergir, em uma região fora da zona de surfe para atualizar sua posição através do *DGPS*. A partir dessa nova posição o veículo deverá corrigir a trajetória para cumprir as rotas programadas. As vantagens na utilização de um sistema *DGPS* em relação ao *GPS* são apresentadas por Pereira e Baracuh (2008).

O veículo contará com um sistema de flutuação ativo, através de um compartimento que encherá e se esvaziará de água de maneira a controlar a flutuabilidade do veículo. Este compartimento ficará na parte dianteira do veículo (bico), de maneira a permitir mergulhos do veículo semelhantes a um *Glider AUV* (RESEARCH, 2013).

6.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou a proposta do sistema de investigação subaquático para águas rasas, baseado no que foi apresentado nos capítulos anteriores. Inicialmente se tratou de definir a problemática de maneira clara, visto que esta definição é muito importante para que se atinjam os objetivos iniciais. Então se clarificou a composição de um *AUV*, seus subsistemas, as funções que o mesmo deve desempenhar.

A proposta do novo sistema, em sua fase de projeto conceitual, é o principal resultado do presente capítulo, que apresenta a solução de cada subsistema e no final apresenta um esboço da solução final, de forma descritiva e com alguns esboços produzidos no software de CAD ProEngineer®.

No próximo capítulo serão apresentadas as conclusões do presente trabalho, bem como as perspectivas e trabalhos futuros.

7 CONCLUSÃO

Está dissertação tratou do problema do projeto conceitual de um sistema robótico subaquático para investigação de águas rasas.

Inicialmente foi feita uma contextualização do problema de investigação subaquática, especialmente águas rasas, também se buscou definir o que seriam sistemas robóticos e o que caracterizaria um sistema de investigação subaquático robótico.

Posteriormente foram realizados estudos sobre o mapeamento subaquático abordando métodos, aplicações, terminando com um estudo do estado da arte de veículos de investigação subaquática existentes.

Fez-se uma análise dos problemas associados a investigação subaquática, como sistema de navegação e localização, a dinâmica de ondas e seu efeito sobre o veículo.

Como um dos objetivos passa pela projeção de um sistema, se fez revisão dos termos associados a atividade de projeção, se apresentou a metodologia PRODIP a ser utilizada neste trabalho.

Assim, pode-se partir para a macrofase de projeção, nas fases de projeto informacional e conceitual.

O resultado deste trabalho é um modelo conceitual, de um *AUV* para investigação subaquática de águas rasas com ondas, fora da zona de surfe. Pretende-se que o levantamento realizado pelo *AUV* esteja apto a ser classificado na categoria "A" da NORMAM-25/DNH da Diretoria de Hidrografia e Navegação (2011). O estudo mostrou que é aceitável que o veículo depois de detalhado e construído em um trabalho futuro em um momento inicial seja classificado na categoria "B".

Este veículo terá como características, operar na terça parte mais profunda da região investigada, sendo equipado com um sistema externo de localização, baseado em bóias inteligentes, e um sistema de navegação interno, composto por uma *INS*, que deverá fornecer a posição estimada do veículo para que o mesmo possa seguir uma tarefa (trajetória), baseado nos dados dos inclinômetros, acelerômetros e demais dados da *INS*. O veículo terá o formato de um torpedo, acionado por um propulsor com hélices e com pás direcionadoras. O sistema de controle da profundidade/flutuabilidade será composto por um reservatório na parte frontal do veículo que deve se encher para que o veículo possa imergir e se esvaziar para emergir, como em um *AUV* do tipo *glider*.

O conjunto de sensores responsáveis pelo mapeamento subaquático será composto por um CTP, um ecobatímetro multi-feixes para a investigação geral, um sistema *ADCP*. Já sendo separado um espaço no *AUV* para que

novos sensores sejam alocados conforme a necessidade do projeto de investigação.

O equipamento atende aos requisitos de investigação em águas rasas, tanto nos aspectos ambientais, quanto nos científicos, mostrando-se como uma solução factível.

A proposta atende aos objetivos iniciais deste trabalho e abre novas perspectivas de desenvolvimento nesta linha de pesquisa na área.

7.1 PERSPECTIVAS E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho abre diversas possibilidades de trabalhos futuros a serem desenvolvidos na área de investigação subaquática, assim como para dar continuidade ao projeto iniciado.

Uma evolução natural deste trabalho seria:

- Detalhamento do projeto;
- Especificação dos componentes;
- Especificação da forma;
- Especificação da estrutura;
- Construção de um protótipo;
- Testes com o protótipo

Para auxiliar esse desenvolvimento diversos trabalhos na área podem ser realizados:

- Teste de ecobatímetros;
- Avaliação e medição do erro dos sistemas de localização disponíveis;
- Estudo detalhado da hidrodinâmica do veículo na região subaquática para suportar a escolha da forma do *UUV*;
- Testes para encontrar a força impulsora dos propulsores comerciais e caseiros para uma correta seleção.

Um trabalho que também pode ser desenvolvido é a construção de protótipos e teste na zona de surfe, a fim de permitir encontrar os perfis das forças envolvidas nessa importante região e assim propor novas concepções de *UUVs*.

Ainda é interessante que se desenvolvam rotinas para as tarefas de mapeamento subaquático.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANANTHAKRISHNAN, P.; ZHANG, K.-Q. Auv motion in a wave field. *OCEANS '98 Conference Proceedings*, v. 2, 1998.

ANTONELLI, G. *Underwater Robots: Motion and Force Control of Vehicle-manipulator Systems*. New York: Springer-Verlag New York, Inc., 2006.

ANTONELLI, G.; FOSSEN, T.; YOERGER, D. *Underwater Robotics In: Springer Handbook of Robotics*. Heidelberg: Springer, 2008.

BACK, N. et al. *Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem*. Barueri: Manole, 2008.

BARA - BRITISH AUTOMATION AND ROBOT ASSOCIATION. *Definition of Robots*. 2013. Acessado em 23/03/2013. <http://www.bara.org.uk/>.

BARROS, E. A. de. *AUVs Veículos Autônomos Submarinos: Panorama Internacional e o Projeto Pirajuba*. 2012.

BENEDETTI, P. E. *Caracterização Geoambiental dos Sedimentos da Lagoa de Jacarepaguã - RJ*. Dissertação (Mestrado) — PUC-Rio, 2011.

BONFIM, G. A. *Metodologia de Projeto*. Recife: Setor de publicações da Universidade Federal de Pernambuco, 1984.

BUTTON, R. et al. *A Survey of Missions for Unmanned Undersea Vehicles*. Arlington: RAND Corporation, 2009. 223 p.

CALIFORNIA STATE UNIVERSITY. *Seafloor Mapping Lab*. 2013. Acessado em 01/12/2013. <http://seafloor.otterlabs.org/>.

CENTENO, M. L. *ROVFURG-II: Projeto e Construção de um Veículo Subaquático Não Tripulado de Baixo Custo*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande, 2007.

CENTRE, N. O. 2013. Acessado em 04/08/2013. <http://noc.ac.uk/>.

CHANCE, T. S. et al. The autonomous underwater vehicle (auv): A cost-effective alternative to deep-towed technology. *Integrated Coastal Zone Management*, 2000.

COASTAL ENGINEERING MANUAL. *CEM (EM 1110-2-1100)*. [S.l.], 2002. v. 1110, 2–1100 p. Acessado em 25/06/2013. <http://chl.erdcc.usace.army.mil/cem>.

CORNELL UNIVERSITY. *Cornell University Autonomous Underwater Vehicle*. 2000. Acessado em 04/05/2013. <http://cuauv.ece.cornell.edu/>.

CORRÊA, I. C. S. *Batimetria com Submergiível Autônomo*. [S.l.]: Departamento de Geodésia, Instituto de Geociências-UFRGS. Porto Alegre: sn, 2007.

CPE. *CPE Tecnologia*. 2013. Acessado em 01/12/2013. <http://www.cpetecnologia.com.br/>.

DEPTH, S. S. I. *Sonardyne - Sound In Depth*. 2012. Acessado em 13/11/2012. <http://www.sonardyne.com/>.

DHANAK, M. et al. Using small auv for oceanographic measurements. *OCEANS '99 MTS/IEEE*, 1999.

DIAS, A. *Projeto Conceitual - Notas de Aula*. 2010. Acessado em 15/10/2011. <http://emc5301.altamir.prof.ufsc.br/>.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. *Normas da autoridade marítima para levantamentos hidrográficos NORMAM-25/DHN*. 2011.

DOUGLAS-WESTWOOD - Energy Business Advisors. [S.l.]: Douglas-Westwood, 2011.

FERREIRA, A. B. H. *Dicionário Aurélio Escolar da Língua Portuguesa*. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1988. 687 p.

FILHO, K. d. S. O.; SARAIVA, M. F. O. *Sistemas de Coordenadas*. 2012. Acessado em 01/09/2013. <http://astro.if.ufrgs.br/>.

FLORIANI, B. L. *Sistematização do projeto informacional e conceitual de um veículo remotamente operado subaquático*. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina.

GAMARO, P. E. *III Curso de Medidores de Vazão Acústica Doppler - Apostila Módulo Básico*. Foz do Iguaçu, 2007.

HAUSER, J. R.; CLAUSING, D. The house of quality. *Harvard Business Review*, 1988.

IFREMER. *Underwater Systems Unit*. 2013. Acessado em 30/08/2013. <http://wwz.ifremer.fr/>.

JONES, E. J. W. *Marine Geophysics*. [S.l.]: Wiley, 1999.

KONGSBERG. *Kongsberg Maritime*. 2013. Acessado em 05/03/2013. <http://www.km.kongsberg.com/>.

LOPENSINO, J. J. *Uma nova concepção de veículos de transporte urbano de passageiros*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

LSTS. 2013. Acessado em: 30/08/2013. <http://lstts.fe.up.pt/vehicles/lauv>.

MANDT, M.; GADE, K.; JALVING, B. Integrating dgps-usbl position measurements with inertial navigation in the hugin 3000 auv. *Proceedings of the 8th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, Saint Petersburg, Russia*, 2001.

MARINHA DO BRASIL. *Navegação: A ciência e a arte; vol. I - Navegação costeira, estima e em Águas restritas*. 1993. <http://www.mar.mil.br/>.

MARTETHYS LEVANTAMENTOS OCEANOGRÁFICOS E ESTUDOS AMBIENTAIS. *MarTethys Levantamentos Oceanográficos e Estudos Ambientais - Relatório técnico referente aos estudos de batimetria e sonografia (sonar de varredura lateral) no canal de acesso e áreas de berços do Sítio previsto para a instalação do Terminal Marítimo Mar Azul - São Francisco Do Sul, Santa Catarina*. 2012.

MARTINS, A. *Panoramo de Robótica Submarina*. 2012. Acessado em 15/08/2013. www.dei.isep.ipp.pt.

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. *Sea PerchProgram*. 2003. Acessado em 07/05/2013. <http://seaperch.mit.edu/>.

MERCHANT, T.; AUSTIN, T.; VAGANAY, J. *AUV Navigation*. May 2008. <http://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/08auvfest/logs/may15/may15.html>.

MORAES, C. E. M. *ROVFURG-I: Projeto e Construção de um Veículo Subaquático Não Tripulado de Baixo Custo*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande, 2005.

MORLOCK, S. E. *Evaluation of acoustic Doppler current profiler measurements of river discharge*. [S.l.]: US Department of the Interior, US Geological Survey, 1996.

OGLIARI, A. *Metodologia de Projeto em Engenharia Mecânica 2007 - Notas de Aula*. 2007.

PAHL, G.; BEITZ, W. *Engineering Design. A Systematic Approach*. 1996.

PEREIRA, J. *Avaliação e correção do modelo cinemático de robôs móveis visando a redução de erros no seguimento de trajetórias*. Dissertação (Mestrado) — Universidade do Estado de Santa Catarina, 2003.

PEREIRA, J. P. G.; BARACUHY, J. G. V. (Ed.). *Ecobatimetria: Teoria e Prática*. Campina Grande: Gráfica Agenda, 2008.

PINTO, J. *Um Mergulho na Robótica Subaquática*. Faculdade de Engenharia do Porto: [s.n.], 2008.

RESEARCH, T. W. 2013. Acessado em 04/08/2013. <http://www.webbresearch.com/>.

ROCHA, C. R. *Planejamento de Movimento de Sistemas Robóticos de Intervenção Subaquática Baseado na Teoria dos Helicoides*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

ROMANO, L. N. *Modelo de Referência para o Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

SABATINI, M. R.; PALMERINI, G. B. *Differential global positioning system (dgps) for flight testing*. 2008.

SANTANA, G. C.; LIMA, R. *Robô Batimétrico*. Setembro 2011. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Positivo.

SOUZA, L. A. P. *Revisão Crítica da Aplicabilidade dos Métodos Geofísicos na Investigação de Áreas Submersas Rasas*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2006.

THE AUSTRALIAN NATIONAL UNIVERSITY. *Serafina*. 2006. Acessado em 27/06/2013. <http://serafina.anu.edu.au/>.

VERNE, J. G. *20,000 Leagues under the Sea*. Paris: Oxford University Press, 1998.

WESTWOOD, J. *The AUV Market Place*. [S.l.]: Douglas-Westwood, 2010.

YAN, Z. et al. Research on an improved dead reckoning for auv navigation. *IEEE*, 2010.

YUH, J. et al. Design of a semi-autonomous underwater vehicle for intervention missions (sauvim). *Underwater Technology, 1998. Proceedings of the 1998 International Symposium on Tokyo*, 1998.

ZANONI, F. D. *Modelagem e Implementação do Sistema de Navegação para um AUV*. Dissertação (Mestrado) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2012.